

01
T(112)
C.3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

República de Guatemala, Centro América

EVALUACION DE LA FIJACION Y DISPONIBILIDAD DEL FOSFORO

EN 14 SERIES DE SUELOS DE GUATEMALA

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Por:

Jorge Alberto Gonzalez Spillari

En el acto de investidura de

INGENIERO AGRONOMO

Guatemala, Agosto de 1970

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano	Ing. Agr. René Castañeda Paz
Vocal 1o.	Ing. Agr. Edgar Leonel Ibarra
Vocal 2o.	Ing. Agr. Antonio Aníbal Sandoval
Vocal 3o.	Lic. Fernando Tirado Barros
Vocal 4o.	Br. César A. Molina L.
Vocal 5o.	Br. José Manuel del Valle
Secretario	Ing. Agr. C. René Matheu

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

Decano	Ing. Agr. René Castañeda Paz
Examinador	Ing. Agr. Rufino Quan B.
Examinador	Ing. Agr. Francisco Mazariegos
Examinador	Ing. Agr. Mario Martínez
Secretario	Ing. Agr. Carlos Aldana

DEDICO ESTE ACTO:

A mis padres:

Dr. J. Augusto Gonzalez R.
Rosa Spillari de Gonzalez

A mis hijas:

Ana Patricia
Monica Lisette

A mis hermanos:

Marta Josefina
Ricardo Alfonso
Rosa María
Carlota de Jesús

A la memoria de:

César Augusto Gonzalez S.
Rodolfo Gonzalez S.
Frans G. Pieters

A mis Catedráticos en General

A mis compañeros de Trabajo

A la Facultad de Agronomía de la Universidad
de San Carlos de Guatemala

DEDICO ESTA TESIS

A:

Gloria

mi esposa

AGRADECIMIENTO

El autor de este trabajo desea dejar constancia de la colaboración prestada por el personal del Departamento de Suelos de la Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola.

Así mismo a la Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola quien autorizó la utilización de los datos obtenidos en la investigación agrícola llevada a cabo dentro del programa de trabajo para ser usados en la presentación de este trabajo.

En forma especial agradezco la asesoría prestada por el Dr. James L. Walker y el Dr. Al N. Plant quienes orientaron el presente trabajo de investigación.

James L. Walker, Director Regional del Norte de América Central I. S. T. P.

Albert N. Plant, Director Regional del Instituto Americano de la Potasa

CONTENIDO

DEDICATORIA DEL ACTO

DEDICATORIA DE LA TESIS

AGRADECIMIENTO

PRESENTACION

CONTENIDO

I INTRODUCCION

II REVISION DE LITERATURA

III MATERIALES Y METODOS

IV RESULTADOS Y DISCUSION

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI BIBLIOGRAFIA

APENDICE

Guatemala,
7 de Agosto de 1970

Señor Decano
de la Facultad de Agronomía
Ing. Agr. René Castañeda Paz
Ciudad Universitaria, Zona 12
Ciudad Guatemala

Señor Decano:

Tengo el honor de dirigirme a usted para manifestarle que, en cumplimiento de la designación de que fui objeto por parte de esa Decanatura, he asesorado al M. E. P. Jorge Alberto González Spillari en la elaboración de su tesis titulada "EVALUACION DE LA FIJACION Y DISPONIBILIDAD DEL FOSFORO EN 14 SERIES DE SUELOS DE GUATEMALA".

En vista del grave problema que representa para la economía de nuestro país el uso y manejo inadecuado de los suelos agrícolas de Guatemala, considero que el trabajo presentado por el M. E. P. Jorge A. González Spillari viene a constituir un aporte valioso para el uso adecuado de fertilizantes.

Sin otro particular aprovecho la oportunidad para suscribirme de usted, con muestras de mi distinguida consideración, como su atento y seguro servidor.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

(f) Ing. Agr. Rodolfo Perdomo M.
Asesor

Ing. RP/Mrm.

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA:

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

En cumplimiento a lo que establecen los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra alta consideración el trabajo:

"EVALUACION DE LA FIJACION Y DISPONIBILIDAD DEL
FOSFORO EN 14 SERIES DE SUELOS DE GUATEMALA"

Al presentarlo como requisito previo para optar al Título de INGENIERO AGRONOMO, espero que merezca vuestra aprobación.

Aprovecho la oportunidad, para presentar mi respetuoso saludo con las muestras de mi consideración.

JORGE ALBERTO GONZALEZ SPILLARI

I INTRODUCCION

Un buen índice para medir la evolución de la agricultura de un país, es el consumo de fertilizantes. El volumen de los fertilizantes indican la distancia con las civilizaciones primitivas, algunas de las cuales llegaron a su desaparición, entre otras cosas por el agotamiento de los suelos.

Gustavo Díaz Ordaz

Rendimientos agrícolas altamente rentables es la meta del agricultor progresivo. Para lograr éstos, se necesitan buenas prácticas de manejo. Entre ellas, el buen manejo del uso de fertilizantes químicos, que contienen nutrimentos vegetales indispensables para llegar a obtener los deseados altos rendimientos por unidad de superficie, siendo un factor decisivo el insumo fertilizante. Entre más altos son los rendimientos más nutrimentos son cosechados.

En la actualidad no se conciben suelos que de por si solos puedan suministrar todos los nutrientes vegetales necesarios, para lograr altos rendimientos por un tiempo largo.

El nitrógeno, fósforo y potasio son considerados como los nutrientes más esenciales. El fósforo se encuentra deficiente en más de un 75% de un total de más de 30,000 muestras de suelos analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Por encontrarse el fósforo con tan alto porcentaje de deficiencia se encuentra influyendo desfavorablemente en la producción agrícola. Se ha decidido investigar:

- a. Si el método actual de análisis, de este elemento realmente está altamente correlacionado con el comportamiento del rendimiento vegetal. e n. el invernadero, es decir, si hay altas probabilidades, que después de establecer un nivel crítico para el análisis de este elemento en suelos de Guatemala, podamos recomendar Fósforo a base del resultado de análisis con una alta probabilidad de obtener una respuesta rentable.
- b. Si existe un método confiable y rápido que pueda ser usado para caracterizar algunos suelos de la República de Guatemala, que se encuentran deficientes en fósforo y sugerir bases para una futura investigación de los mecanismos involucrados y el manejo más económico de este nutrimento.

Para una mejor orientación y entendimiento de los múltiples factores que intervienen en este problema se ha efectuado una revisión de la literatura disponible.

II REVISION DE LITERATURA

El contenido de fósforo total no es un buen índice para evaluar la cantidad de fósforo de un suelo, pues posiblemente la fracción más pequeña será de fósforo disponible para la planta. Malavolta (27), expresa que la fracción más pequeña será encontrada en forma de H_2PO_4 que es la que rápidamente será absorbida por las raíces.

Según datos disponibles en suelos minerales de regiones templadas, este contenido de fósforo total oscila entre 0.029 y 0.169% (11, 22, 40), Malavolta (27) dice que esta cantidad de fósforo total debería superar las necesidades de cualquier cosecha, pero el fósforo es limitante para la producción de muchos cultivos, a causa de que no es fósforo disponible para la planta.

La concentración de fósforo disponible en solución en el suelo, depende del ritmo de la descomposición de la materia orgánica y de la capacidad de la fracción inorgánica del suelo, para reaccionar con los orthofosfatos solubles o ligeramente solubles, Tisdale y Nelson, (39).

Esta disponibilidad se encuentra afectada por muchos factores así vemos que el pH afecta la cantidad de fósforo disponible. Tisdale y Nelson, (39) dicen que la máxima disponibilidad de fósforo corresponde a valores de pH comprendidos entre 5.5 y 7.0 mientras que para Nelson, (29) cuando el pH está comprendido entre 6.5 y 7.0. Entre otros factores que afectan la disponibilidad se encuentran los Hidróxidos Fe y Al. Para Hemwall, (20) éstos interfieren en suelos ácidos y el Ca. y Mg. y carbonatos en suelos alcalinos. Como puede notarse, no existe un límite establecido de pH en que el fósforo tenga mayor disponibilidad, en suelos alcalinos hay mayor retención del fósforo fijado como fosfato de calcio o fosfato de magnesio. En suelos ácidos es posible que la mayor fijación se efectúe en forma de fosfatos de Fe y Al y en éstos que tienen pH menor que 5.5 es atribuida a los cationes antes mencionados (7, 9, 22, 39).

El Ca y Mg son dos cationes de intercambio que juegan un papel importante en la fijación de P. En suelos alcalinos o suelos de origen calcáreo son responsables, principalmente el calcio en la formación de compuestos insolubles.

En estos casos la fijación del fósforo se debe a la formación de fosfato de calcio, tricalcio e hidroxapatita o carbonato apatita que son compuestos relativamente insolubles (20, 39). Jacobs y Reed (22) consideran además la formación de fosfato de Mg o algunas sales dobles como carbonato fosfato de calcio o flurofosfato de calcio, sales que son menos solubles aún. En suelos ricos en carbonatos libres de calcio, la actividad del fósforo aplicado puede ser rápidamente disminuída debido a la precipitación de los iones fosfato sobre la superficie sólida de la partícula de carbonato de calcio. Este fenómeno físico de contacto puede sucederse por un eslabonamiento en-

tre los iones de fosfato y la micela de arcilla por un puente de calcio según Tisdale y Nelson (39).

Uno de los medios más utilizados para tratar de mantener niveles adecuados de fósforo disponible para la planta, es la adición de compuestos solubles en forma de fertilizante al suelo. Aunque casi todos los fertilizantes vienen granulados, la fijación es afectada por el tamaño de partículas, grado de solubilidad y época de aplicación (9, 23, 40). Existen otros problemas relacionados con el suministro de fósforo disponible y la asimilación del mismo por la planta. Según Barber (2) el fósforo es esencial para la germinación de la semilla y desarrollo normal de la planta, necesitándose en la primera época del crecimiento. Black (1) dice que la lixiviación del fósforo no existe o ésta no es significativa a causa de que ésta es limitada por la poca solubilidad y el escaso movimiento en el suelo.

La regulación de P disponible en suelo se dificulta debido a que el fertilizante fosfatado reacciona rápidamente con el complejo suelo, formándose compuestos de solubilidad disminuida de acuerdo con las propiedades de cada uno (22, 39).

Hemwall, (20) informa que el fenómeno, conocido como fijación o retención de fósforo, fue advertido por primera vez en Europa en 1850 y en Estados Unidos de Norteamérica en 1900. A partir de esta fecha muchos investigadores han conducido trabajos para conocer este problema y establecer la naturaleza de la fijación del fósforo. Aunque se opina (7, 20, 22) que a la fecha este mecanismo de la fijación de P aún no está bien definido, la evidencia experimental ha dado algunas luces al respecto.

El origen genético del suelo afecta la fijación del fósforo. Según Swindale (37) en suelos derivados de cenizas volcánicas, la fijación de fósforo es una característica especial debido a la formación de Taranakita. Para Birrel y Kobo (4, 24) la fijación es resultante de la actividad del aluminio formando fosfatos de aluminio. Palencia (33) en la caracterización de algunos suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas de Centro América, encontró una correlación negativa entre el contenido de P disponible y los contenidos Al^{+++} "extraíble" y el Fe_2O_3 . Esta se atribuye al efecto de fijación de P, por formación de fosfatos de Fe y Al.

El tipo de arcilla presente es otro factor que influye en el fenómeno de fijación. Para explicar este mecanismo de fijación de P por parte del coloide arcilloso se ha sugerido que el anión fosfato reemplaza al radical OH^- (20, 22, 29) o es absorbido por la micela de arcilla directamente o mediante un puente de calcio según Tisdale y Nelson (39). De aquí tienden a presentar mayor poder de fijación de P, los suelos con alto contenido de arcilla, arcilla de baja relación SiO_2/R_2O_3 y en ambas condiciones. Ejemplo de éstos son los suelos en los cuales la arcilla es de relación de Tipo 1:1 donde el grupo OH^- está expuesto o los con arcilla de tipo 2:1 altamente saturados con Ca (7, 20, 22, 23, 39). De acuerdo con Palencia (33) los suelos con alto contenido de alofano tiene una alta capacidad de fijar fosfatos, molibdatos y sulfatos. Swindale (37) dice que esta propiedad es debida a la formación de taranakita, lo cual explica esta alta capacidad de fijación de fosfatos. Muchos investigadores han desarrollado diferentes mé-

todos para evaluar la disponibilidad del fósforo. Cabe mencionar que los más conocidos son: Bray y Kurtz (Bray 1), Enger-Riehm, Saunders, Olsen, Mehlich, Morgan y La Motte. Cate y Nelson (5) efectuaron una correlación con varios métodos de los mencionados, desarrollando una técnica para correlacionar el análisis de suelo y la producción de materia producida, encontrando satisfactoria esta correlación con el método de Mehlich. Por ser este método oficial para el análisis de fertilidad en el Laboratorio de Suelos de la Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola del Ministerio de Agricultura de la República de Guatemala y de otros países del área Centroamericana se seleccionó el método de Mehlich para el estudio de correlación entre el análisis de suelos y rendimiento vegetal en el invernadero.

Los niveles seguidos en el Laboratorio para la interpretación de los datos según esta metodología son de 0 a 19 ppm de P nivel bajo o deficiente, 20 a 25 ppm de P nivel mediano, 26 a 50 ppm de P nivel alto y mayor que este valor de 50 ppm de P como muy alto. Se decidió comprobar estos niveles en forma experimental en el Laboratorio e Invernadero.

III MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción General de Guatemala, Sus Climas y los Suelos Usados en Este Estudio

La República de Guatemala está localizada en el Istmo Centroamericano, el cual se encuentra en el trópico del hemisferio Norte, estando comprendida entre 13° 30' y 18° 00' latitud Norte y entre 92° 30' y 89° 00' longitud Oeste, tiene un área de 108,889 kilómetros cuadrados con una población de ---- 5,000,000 de habitantes que se incrementa con una tasa anual de 3.85% (16).

El sistema orográfico de la República de Guatemala es considerado como parte de la Cordillera de Los Andes, que atraviesa toda América. Al pasar por el Istmo de Tehuantepec esta cordillera se divide en dos ramales que entran a Guatemala, el uno por el Departamento de San Marcos, el cual forma el sistema de la Sierra Madre, y el otro por el Departamento de Huehuetenango formando el sistema de los Cuchumatanes. Este sistema montañoso y el eje volcánico de la cordillera de Guatemala divide en tres el sistema Hidrográfico de la República: Ríos que desembocan en el Océano Atlántico que son más largos y navegables, éstos se sub-dividen en los que desembocan en el Golfo de México y los que desembocan en el Golfo de Honduras.

La República de Guatemala debido a su gran variedad de alturas, en la que influyen montañas y volcanes, presenta una gran variedad de climas. Según Hol- dridge (21) consta de cuatro "fajas" que se subdividen en doce zonas climáticas, en la siguiente manera:

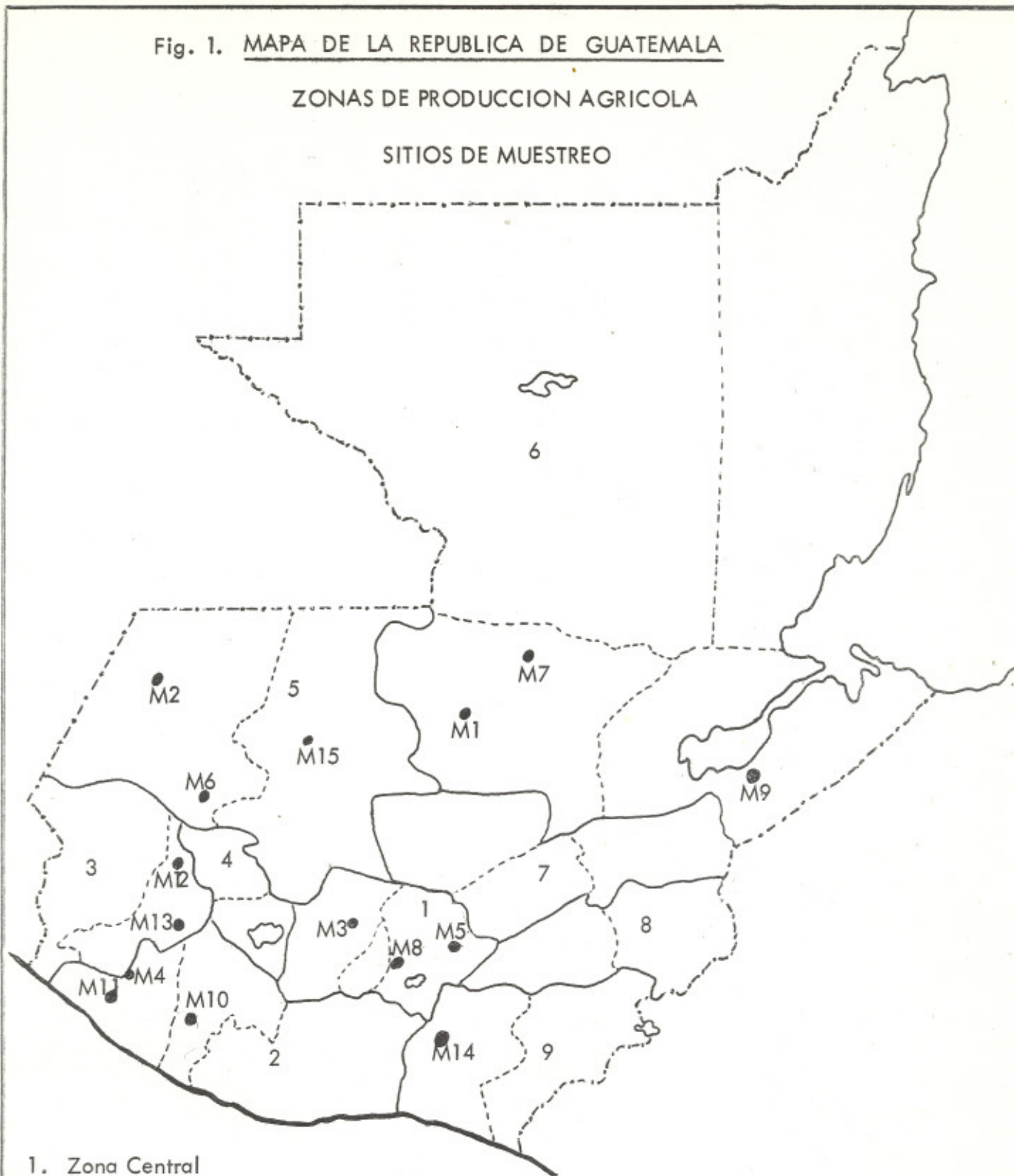
	Area (Km ²)
1. Faja Tropical	
A. Zona tropical muy seca o sabana tropical	1 600
B. Zona tropical seca	21 200
C. Zona tropical húmeda	39 200
2. Faja Sub-Tropical	
A. Zona sub-tropical seca o sabana sub-tropical	12 700
B. Zona sub-tropical húmeda	4 900
C. Zona sub-tropical muy húmeda	7 900
D. Zona sub-tropical pluvial	500
3. Faja Montano Bajo Tropical	
A. Zona montano bajo tropical seca, o sabana montano tropical	300
B. Zona montano bajo tropical húmeda	16 750
C. Zona montano bajo tropical muy húmeda	3 150
4. Faja Montano Tropical	
A. Zona montano tropical húmeda o pradera montano tropical	750
B. Zona montano tropical muy húmeda	50

Para una mejor comprensión del área cubierta en este estudio se presenta el mapa (Figura 1) de la República de Guatemala con sus departamentos, zonas de producción y sitio de muestreo, como puede notarse pertenecen a seis zonas de producción agrícola y diez departamentos, habiéndose seleccionado por su importancia. Las características más importantes de los suelos en estudio se encuentran resumidas en el Cuadro 1.

Fig. 1. MAPA DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA




ZONAS DE PRODUCCION AGRICOLA

SITIOS DE MUESTREO



1. Zona Central
2. Zona Sur
3. Zona Occidental
4. Zona Occidental Media
5. Zona Noroccidental
6. Zona Norte
7. Zona Nororiental
8. Zona Oriental
9. Zona Suroriental

Referencias

- Límite Internacional 
- Límite Departamental 
- Límite de Zonas de Producción 

Cuadro 1. Series y principales características de los suelos usados en el desarrollo de la evaluación de la fijación y disponibilidad del Fósforo en 14 series de suelos.

Serie	Situación en la República de Guatemala	Zona Ecológica	Precipitación pluvial en m.	Altitud Sobre el Nivel del Mar en mts.	Material Original
Chixopol	Oeste Central	Montano Bajo Tropical Húmeda	1 000	1 000 a 1 200	Ceniza pomácea volcánica cementada
Ixtán ¹	Plano Costero Suroeste	Tropical Seca	2 000	150	Depósitos de terraza marina
Mongoy	Declive Suroeste	Subtropical Húmeda	1 000	900	Lava máfica o brecha de toba volcánica
Ixtán ²	Plano Costero Suroeste	Tropical Seca	2 000	150	Depósitos de Terraza marina
Seból	Planicie Noroeste	Tropical Húmeda	3 000	450	Aluvi3n viejo
Guatemala	Planicie Sur Central	Subtropical Seca	1 100	1 200 a 1 800	Ceniza volcánica débilmente cementada
Aluviales	Planicie Nororiente	Subtropical muy Húmeda		4 000 a 100	Aluvi3n
Cuyotenango	Plano Costero Suroeste	Tropical Húmeda	4 000	150 a 300	Depósitos viejos de cenizas volcánicas.
Quiché	Declive Suroeste	Montano Bajo	2 000	1 200 a 2 100	Ceniza volcánica pomácea finamente cementada
Morán	Planicie Sur Central	Subtropical Seca	2 000	600 a 1 800	Ceniza volcánica pomácea
Barberena	Sureste	Montano Bajo Tropical	2 000	1 200 a 1 800	Flujo lodoso o lahar máfico
Sinaché	Altiplanicie Central	Montano Bajo Tropical	1 000	1 200 a 2 400	Ceniza volcánica pomácea
Carchá	Norte Central	Subtropical muy Húmeda	4 000	600 a 1 200	Ceniza volcánica grano fino blanca
Camanchá	Altiplanicie Oeste Central	Montano Bajo Tropical Húmeda	2 000	2 300 a 3 000	Ceniza volcánica cementada o suelta
Civiá	Este Central	Montano Bajo Tropical Húmeda	2 000	900 a 1 900	Esquistos

3.2 Muestreo y Preparación de la Muestra

Para el muestreo y preparación de la muestra se siguieron las indicaciones de Waugh y Fitts (44). Localizando las series de suelos estudiadas de acuerdo con Simmons, Tárano y Pinto (36).

El muestreo se hizo en diez puntos del área seleccionada, tomando aproximadamente 40 a 50 kilos de muestra. Estas fueron secadas al aire y tamizadas a 8 mm y homogenizadas, posteriormente se procedió a llenar un depósito de 38 litros. Una sub-muestra se tamizó a 2 mm y se homogenizó para efectuar el análisis en el Laboratorio.

3.3 Metodología Analítica

La metodología analítica seguida en el presente trabajo fue el método oficial del Ministerio de Agricultura para el servicio de análisis de suelos del agricultor guatemalteco.

3.3.1 pH del Suelo

Esta determinación fue hecha en una suspensión relación 2:1 agua suelo efectuando la lectura en un Potenciómetro Fisher, modelo 210 con electrodos de vidrio.

3.3.2 Soluciones Extractoras

Para este método se usaron dos soluciones extractoras:

Solución 1: 0.05 N de HCl y 0.025 N de H₂SO₄

Solución 2: 1 N de KCl

3.3.3. Extracción

La extracción de fósforo, potasio, calcio y magnesio fue hecha con la solución 1 para lo cual se usó una relación 5 a 1, solución extractora, suelo.

La extracción de aluminio fue hecha con la solución 2 usando una relación 10 a 1, solución extractora, suelo.

En ambos casos el tiempo de agitación fue de cinco minutos usando un agitador rotativo con capacidad para 33 muestras. Estas suspensiones fueron filtradas en papel filtro Wattman No. 2, obteniendo un filtrado incoloro en el cual fue determinado el fósforo, potasio, calcio, magnesio y aluminio. Fue usada una muestra control para cada diez determinaciones.

3.3.4 Determinación de Fósforo

El fósforo fue determinado colorimetricamente en el extracto obtenido. Fue desarrollado el color amarillo por adición de Metavanadato de Amonio. Luego fueron dados sus porcentajes de transmisión por un haz de luz de 420 milimicras, determinando la concentración de P por comparación con los porcentajes de transmisión de una serie de soluciones estándar de concentración conocida. Las determinaciones de los porcentajes de transmisión fueron hechas con un Colorímetro foto-eléctrico "Spectronic 20" de la Casa Bausch and Lomb.

La solución estándar de mayor concentración correspondió a 20 ppm de P elemental o sean 100 ppm de P elemental con relación al suelo.

3.3.5 Determinación de Potasio

Se hizo directamente del extracto obtenido midiendo las intensidades de las emisiones correspondientes al Potasio en un Fotómetro de Llama (Perkin-Elmer) y comparándolas con las intensidades de una serie de soluciones estándar de concentración conocida.

La solución estándar de mayor concentración fue de 40 ppm de K elemental o sean 200 ppm de K con relación al suelo.

3.3.6 Determinación de Calcio y Magnesio

La determinación de calcio y magnesio fue efectuada sobre el extracto, usando el método de titulación con EDTA con pequeñas modificaciones.

3.3.7 Determinación de Aluminio

La extracción fue efectuada con la solución 2, al obtener este extracto fue tomada una alicuota de 25 ml agregando 3 gotas de una solución de Azul de Bromotimol titulando con una solución 0.025 N de NaOH.

3.3.8 Determinación de Textura

La textura fue determinada por el método del Hidrómetro. El dispersante usado fue Calgón (Hexametáfosfato de Sodio) recomendado por Castillo (6). Usando un Hidrómetro calibrado a 68°F y la clase textural fue definida por sistema propuesto por Black (1).

3.3.9 Análisis Mineralógico

El análisis mineralógico de las arcillas fue hecho en la Universidad Estatal de Carolina del Norte, mediante el estudio de sus espectros de difracción de rayos X.

3.4 Metodología

Teniendo una idea del comportamiento del fósforo en el suelo se hicieron dos tipos de trabajos.

3.4.1 Determinación de la Fijación Rápida del Fósforo en el Laboratorio

En su mayor parte fueron seguidas las normas dadas por Waugh y Fitts (44) con ligeras modificaciones.

Fue usada una solución K_2HPO_4 en lugar de la solución de $Ca(H_2PO_4)_2$ recomendada, con el fin de poder evaluar la fijación de potasio y fósforo en una misma muestra.

3.4.2 Fósforo Aplicado

Con el objeto de evaluar la fijación del fósforo con los diferentes suelos estudiados, fueron aplicados once tratamientos de soluciones con un contenido creciente de fósforo a cinco gramos de suelo el cual fue depositado en un porta-bote, (porta-bote tiene 11 botes) aplicando a cada uno el tratamiento que le correspondía, como sigue:

<u>No. de Tratamiento</u>	<u>Concentración de P expresado en ppm Colocado en el Suelo</u>
0	0
1	25
2	75
3	150
4	200
5	250
6	300
7	400
8	500
9	600
10	700
11	800

Con estos tratamientos aplicados se dejó reaccionar el suelo por cuatro días y después se procedió a la determinación de fósforo disponible según la metodología ya indicada, con estos datos obtenidos por el método rápido de fijación en el Laboratorio, nos permiten estimar la fijación del fósforo o su disponibilidad dando origen así, a las curvas de disponibilidad que se presentan en el apéndice.

3.5 Definición del "Valor X"

A este valor se le ha llamado "X" porque es una cantidad que no se conoce exactamente, el cual varía según las características de cada suelo. Conociendo lo que es este valor podemos definir que "X" es la cantidad de fósforo, que aplicada a un suelo, dará suficiente fósforo disponible para el crecimiento normal de la planta. En un suelo que presenta el fenómeno de fijación de este elemento, el valor X será la cantidad de fósforo que permita llenar los requisitos de fijación y deje una cantidad adecuada para aportar el fósforo necesario para el desarrollo de la planta.

3.6 Fósforo Disponible

El fósforo disponible para la planta según análisis de suelos debe de estar comprendido entre un rango para asegurarse un nivel adecuado para el crecimiento normal de la planta. Este rango de concentración de P expresado en ppm se le puede llamar nivel crítico y el usado en este trabajo es tentativo y está comprendido entre un rango de 15 a 25 ppm. Se considera este rango tentativo debido a que hasta la fecha no existen trabajos de correlación. En 1966 fueron introducidos al desarrollar la metodología propuesta por el Proyecto Internacional de Fertilidad y Análisis de Suelos los niveles de 0 a 19 como un nivel bajo de 20 a 25 mediano y más de 26 adecuado.

3.7 Trabajo de Invernadero

Usando los valores obtenidos en el Laboratorio, se procedió a tratar los suelos según las necesidades de cada uno de ellos, aplicando el P en forma de Triplefosfato de Calcio triturado a 250 mesh. Se efectuaron cuatro tratamientos por cada suelo con tres replicaciones. Esta aplicación se hizo en macetas de un litro de capacidad con peso que varió desde 700 gramos a 1 200 gramos. Una vez mezclado el fósforo fue homogenizado para asegurarse una buena mezcla de T. F. C.* y suelo, dejando incubarse por un largo tiempo para estudiar el comportamiento del fósforo con respecto a la fijación lenta, para lo cual este suelo llevado a su capacidad de campo se dejó reposar por cuatro semanas, tiempo en que llegó a estar nuevamente seco, aprovechando esta condición para ser tamizado a 8 mm. Se repitió el proceso cuatro veces.

En la segunda incubación con el fin de no tener interferencia con los elementos no estudiados, fue agregada una solución nutritiva aplicando las cantidades de elementos que se consideraron importantes:

* Triple Superfosfato de Calcio

<u>Elemento</u>	<u>ppm</u>	<u>Kgs/Ha, Aproximado</u>
N	150	300
K	125	250
Ca	50	100
Mg	150	300
Fe	50	100
S	100	200
Cu	2.5	5
Mn	9.1	18.2
Zn	4	8
B	0.25	0.5

En la cuarta y última incubación se permitió que el suelo llegara a una humedad tal que permitiera ser trabajado, tamizado en un tamiz de 8 mm y homogenizado nuevamente, considerando que el fósforo aplicado se encontraba bien mezclado y disperso en todo el volumen de suelo. Se tomaron muestras para determinar los contenidos de fósforo disponibles antes de efectuar la siembra.

Una solución abastecedora de nitrógeno y potasio fue hecha con el fin de aplicarla semanalmente para asegurarse que estos dos elementos no fueran limitantes, haciendo aplicaciones equivalentes a 30 Kg/Ha. de nitrógeno.

A las semillas de Girasol, *Heliantus anum*, se les quitó la cubierta exterior con el fin de conocer su tamaño, seleccionándose las más grandes. Estas fueron puestas a pre-germinar, seleccionándose nuevamente aquellas que tenían mejor desarrollo y vigor a las 36 horas de pre-germinación.

Se procedió a la siembra de esta semilla haciendo cuatro posturas por maceta, aplicando agua de riego y cubriéndolas con tela plástica para evitar evaporación. A los dos días fue retirado el plástico, teniendo una población inicial uniforme en las 180 macetas. A los cinco días después fueron seleccionadas dos plantas, las más vigorosas y mejor desarrolladas, obteniéndose así una población inicial, igual a la final, de dos plantas por maceta; luego se procedió a la aplicación de la solución abastecedora de Nitrato de Potasio. Después de siete semanas las plantas fueron cosechadas, secadas y pesadas, obteniendo así el peso de materia seca producida.

3.8

Correlación

Para efectuar la correlación entre análisis de suelos y materia seca producida se siguió la técnica descrita por Cate y Nelson (5) y las recomendaciones dadas por Vela (43).

IV RESULTADOS Y DISCUSION

El tratamiento aplicado a los suelos dio como resultado los datos del Cuadro 2. Puede observarse en él que todos los suelos sobrepasaron el nivel crítico pre-establecido o están dentro del rango de variación que se estableció: 15 a 25 ppm.

Colocando los valores del fósforo extraído (disponible) en el eje de las abscisas y los valores correspondientes del fósforo aplicado en el eje de las coordenadas, se obtienen quince curvas que representan las diferentes maneras en que para cada suelo varía el fósforo extraído en función del fósforo aplicado. La comparación de estas gráficas revela tendencias de incremento muy distintas que sugieren dar a la información que representan una forma de expresión más funcional: La forma porcentual correspondiente al Cuadro 3. Este cuadro nos permite ver claramente que existe diferencia entre suelos, variando desde 45% a 98% de fijación del fósforo aplicado y que la variación dentro de cada tratamiento de cada suelo, es pequeña, lo que sugiere la existencia de un coeficiente de fijación que pueda ser usado para llegar a obtener una concentración de P disponible deseada, según cálculos expuestos en página 18.

La variabilidad entre suelos que se ha observado es muy grande y puede ser que exista alguna relación con el análisis físico y químico de los suelos, estos datos están presentados en el Cuadro 4.

Cuadro 2. Fósforo disponible expresado en ppm de P después de la fijación rápida en el Laboratorio, usando la técnica descrita en el numeral 3.4.2 o sea aplicación de soluciones de concentraciones crecientes, que varía desde 0 ppm de P hasta 800 ppm de P.

Serie	T R A T A M I E N T O S											
	0	25	75	150	200	250	300	400	500	600	700	800
Chixocol	27.02	41.35	70.40	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00
Ixtán'	5.50	10.90	19.85	34.20	49.10	61.40	75.60	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00
Mongoy	14.05	22.00	41.35	68.50	92.55	100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00
Ixtán''	10.15	18.45	29.90	67.30	92.05	98.60	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00
Sebol	1.52	4.10	12.20	27.90	33.05	42.50	48.48	70.40	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00
Guatemala	3.50	7.00	19.15	38.80	47.80	68.50	80.70	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00
Aluviales	0.65	3.50	11.65	21.75	34.20	47.80	59.60	85.35	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00
Cuyotenango	1.52	4.80	10.20	27.10	39.75	49.10	69.40	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00	<100.00
Quiché	4.80	4.80	9.70	17.50	22.45	31.00	35.45	46.50	68.50	<100.00	<100.00	<100.00
Morán	0.65	2.65	5.15	12.40	17.25	22.00	34.20	47.80	63.15	85.35	92.50	<100.00
Barberena	0.65	2.00	5.50	12.40	15.75	23.80	32.00	43.10	60.50	72.35	90.40	<100.00
Sinaché	1.20	1.30	2.85	4.10	4.10	5.50	5.50	6.10	11.60	10.90	21.00	24.65
Carchá	0.16	1.40	2.00	4.10	3.50	11.65	19.40	18.50	19.25	20.80	19.85	24.45
Camanchá	1.00	2.65	4.95	9.85	11.60	13.65	17.50	22.00	32.55	37.45	41.08	54.30
Civijá	3.80	4.10	10.80	18.45	19.15	22.00	32.00	42.50	52.80	60.50	76.30	78.50

NOTA: Suelo Serie Ixtán' suelo con mal rendimiento y falta de respuesta a fertilización
 Suelo Serie Ixtán'' suelo con mejor rendimiento y respuesta a la aplicación de abonos completos

Cuadro 3. Porcentajes de fijación del fósforo aplicado por medio de soluciones crecientes en el Laboratorio, concentración expresada en ppm de P.

Serie	T R A T A M I E N T O S												Promedio
	25	75	150	200	250	300	400	500	600	700	800		
Chixocol	42.6	42.2	51.3										45.4
Ixtán'	66.6	73.7	72.3	71.4	67.2	70.5							70.3
Mongoy	68.2	63.7	63.7	60.8									64.1
Ixtán''	78.4	80.9	84.2	78.2	77.6								77.6
Sebol	89.7	85.8	82.4	84.2	83.6	84.3							84.7
Guatemala	86.0	79.1	76.5	77.8	74.0	76.3							78.3
Aluvial	88.6	85.3	85.9	83.2	81.1	80.4	78.2	80.1					82.9
Cuyotenango	86.9	88.4	87.6	87.2	84.7	84.1	83.0	80.3					85.0
Quiché	100.0	93.5	91.5	91.2	89.5	89.8	89.6	87.3					91.6
Morán	92.0	94.0	92.2	91.7	91.5	88.8	88.2	87.5	85.9	86.9	87.6		89.7
Barberena	94.6	93.5	92.1	92.4	90.7	89.6	89.4	88.0	88.1	87.2	87.6		90.4
Sinaché	99.6	97.8	98.1	98.6	98.3	98.6	98.8	97.7	98.4	97.2	97.1		98.2
Carchá	95.0	97.5	97.4	98.3	95.4	93.6	95.4	96.2	96.6	97.2	97.0		96.7
Camanchá	93.4	94.7	94.1	94.7	94.9	94.5	94.8	93.7	93.9	94.3	93.3		94.2
Ciyijá	98.8	97.7	90.2	92.3	92.7	90.6	90.3	90.2	90.6	89.6	90.7		91.5

Ver ejemplos en página siguiente

Ejemplo del cálculo para expresar en % de fijación y % de disponibilidad todos los datos se encuentran expresados en ppm de P para llegar a obtener los % de fijación y % de disponibilidad.

Suelo Chixocol

P inicial según Cuadro 4 = 27.02
 P aplicado según Cuadro 2 = 75.00
 P disponible según Cuadro 2 = 70.40

P según análisis $70.40 - P \text{ inicial} + P \text{ aplicado}$

$$P \text{ inicial} = \frac{27.02}{43.38} \text{ P real incrementado}$$

$$\begin{array}{r} P \text{ aplicado} = 75.00 - \\ P \text{ real} = \frac{43.38}{31.62} \end{array} \quad \frac{31.62}{75} \times 100 = 42.2\% \text{ de fijación}$$

$$100.0 - 42.2 = 57.8\% \text{ de disponibilidad}$$

Suelo Mongoy

P inicial según Cuadro 4 = 14.7
 P aplicado según Cuadro 2 = 150.0
 P disponible según Cuadro 2 = 68.5

$$\begin{array}{r} P \text{ según análisis} \\ - P \text{ inicial} \end{array} \quad \frac{68.5 - P \text{ inicial} + P \text{ aplicado}}{14.7}$$

53.8 P real incrementado

$$\begin{array}{r} P \text{ aplicado} \\ P \text{ real} \end{array} \quad \frac{150.0 - 53.8}{96.2} \quad \frac{96.2}{150} \times 100 = 63.7\% \text{ de fijación}$$

$$100.0 - 63.7 = 36.3\% \text{ de disponibilidad}$$

Cuadro 4. Análisis de los suelos estudiados los cuales representan la condición inicial de los mismos al principiar el trabajo de evaluación de la disponibilidad y fijación del Fósforo en 14 series de suelos de Guatemala.

Serie	pH	En ppm		Meq/100 grs.			Textura	% de Arcilla	Arcilla Predominante
		P	K	Ca	Mg	Al			
Chixocol	6.3	26.7	170	3.25	4.45	0	Franco Limoso	38.2	K
Ixtán'	5.9	9.5	70	5.30	6.90	0	Franco Arcilloso	38.2	K;
Mongoy	6.2	14.7	138	4.00	5.75	0	Franco	28.1	M
Ixtán"	6.0	5.4	124	5.30	6.80	0	Franco Arcilloso	38.2	K
Sebol	5.5	1.0	114	3.50	4.25	0.15	Arcilla	59.2	K
Guatemala	6.5	4.0	>200	7.10	8.85	0	Franco Arcilloso	34.0	K
Aluviales	5.4	0.7	30	1.05	3.7	0.25	Arcillo Limoso	48.7	V C
Cuyotenango	6.0	1.3	>200	7.8	9.80	0	Arcilloso	42.4	K
Quiché	6.3	4.3	>200	10.10	12.15	0	Franco Arcilloso	34.1	K
Morán	6.4	1.3	>200	9.20	12.00	0	Franco Arcilloso	38.2	K
Barberena	6.0	1.0	>200	7.10	11.25	0.15	Franco Arcilloso	44.5	K
Camanchá	5.5	0.7	>200	2.10	2.70	0.15	Franco	34.0	A
Carchá	5.8	0.7	138	6.05	7.35	0.5	Franco	25.6	A
Sinaché	6.3	1.2	112	2.05	3.25	0	Franco	29.8	A
Civiá	6.0	3.4	98	6.55	7.45	0.05	Franco Arcilloso	31.5	A

En el pH existe una variación máxima de 1.2 unidades, pero en un valor igual de pH existe diferente % de fijación de fósforo aplicado. No existe ninguna relación entre pH y fijación, esto para los suelos estudiados. El contenido de fósforo disponible es muy variable, existiendo 26 ppm de diferencia entre el más alto al más bajo, puede ser que la concentración inicial de fósforo disponible tenga importancia, al principio dio buena relación, aunque posteriormente se llegó a descartar esta posibilidad debido a que para una misma cantidad baja de fósforo existe diferente respuesta para el fósforo aplicado; igual sucede con los cationes Potasio, Calcio y Magnesio, aunque en tres suelos presenta cierta relación, pero no es la causa mayor debido a que tiene diferentes % de fijación de fósforo aplicado.

El aluminio extraíble, factor citado por muchos autores como responsable de la fijación del ión PO_4 , en muchas muestras está ausente, sin embargo el por ciento de fijación es muy alto, en otras muestras está presente en cantidades relativamente pequeñas, parece no influir mucho pues el % de fijación es bajo. En la textura y el % de arcilla se buscó la respuesta a la alta fijación de fósforo, no encontrando la respuesta deseada, aunque el tipo de arcilla que predomina sí fue un factor que dio una relación directa. Si bien es cierto, existe en mayor número la arcilla tipo Kaolinita, en un buen número de muestras aparece también arcillas Montmorillonita Vermiculita y material amorfo no cristalizado o alófono. En esta clasificación del mineral de arcilla, que se detalla en el Cuadro 5, se da la composición de la arcilla estudiada, encontrando mezclas de arcilla, existiendo un gran número de ellas y dos muestras con material amorfo predominando.

Por los datos obtenidos en el Cuadro 5 podemos notar que los suelos que contienen materiales amorfos, son los que presentan los porcentajes de fijación más altos donde fue necesario estimar un valor X alto para el trabajo de invernadero.

El valor estimado para X se encuentra en el Cuadro 6, el cual fue seleccionado cuando la curva de disponibilidad pasaba por el rango comprendido entre 19 a 25 ppm de P. No se siguieron las indicaciones de Waugh y Fitts (44) por no presentar cambio de pendiente en las curvas que cada suelo originó al hacer aplicaciones de soluciones de concentración creciente en P. Esto nos indica la posibilidad de que existe un coeficiente de fijación y este valor está expresado en ppm de P elemental y en gramos de Triple Superfosfato por 1 000 gramos de suelo, en el Cuadro 6.

Los valores de fósforo disponible después de la fijación lenta a que fueron sometidos en el invernadero, son satisfactorios para la mayoría de los tratamientos, Cuadro 7, aunque el análisis del tratamiento con el valor X en muchas muestras fue inferior al nivel crítico establecido al iniciar el trabajo, hecho que se le atribuye a la fijación lenta que se presenta con bastante regularidad en los suelos con material amorfo.

El tratamiento de 2X superó al nivel crítico establecido: Salvo en el caso de cuatro suelos. Esto se debe a que estos cuatro suelos son los que tienen predominando material amorfo. Esto nos obliga a su eliminación debido a su comportamiento diferente. Es posible que a base de futuros trabajos se establezca un nivel crítico diferente

para estos suelos. Para ello es necesario hacer una investigación especial para suelos con alto contenido de material amorfo, debido a que la fijación rápida no da buen índice para la aplicación del Fósforo. En esta futura investigación se sugiere para hacer trabajos con fijación lenta, debiendo establecerse los límites de tiempo y controlar otros factores. En el Cuadro 8 se puede notar que los por cientos de fijación lenta aumentan considerablemente llegando hasta el 100 por ciento de fijación lenta para los suelos con alto contenido de material amorfo. Es necesario conocer la fijación de fósforo de un suelo, pero es más interesante conocer la disponibilidad del fósforo debido que la forma disponible, será la que la planta consume y ésta es responsable de una alta producción. Si existe un porcentaje de fijación dado, lo que le falta para llegar a 100 será lógicamente el por ciento de disponibilidad, el por ciento de fijación y disponibilidad es variable con cada suelo y a cada nivel de P que se desee obtener, es así como es necesario tener en cuenta el nivel deseado y el por ciento de fijación o disponibilidad.

Con base de las investigaciones iniciales en las cuales se manifiesta la posibilidad de la existencia de un coeficiente de disponibilidad se efectuaron trabajos para comprobar lo expuesto anteriormente, lo cual se ilustra con el siguiente ejemplo:

Suelos Aluviales

El nivel de fósforo disponible es de 5.75 ppm, debemos aplicar suficiente cantidad de P para tener 44.25 ppm más de P disponible para lograr nuestra meta de tener 50 ppm de P disponible en el suelo. El por ciento de fijación dado en el Cuadro 3 es de 81.1; el por ciento de disponibilidad será $100 - 81.1 = 18.9$. El coeficiente de disponibilidad de fósforo será: $100 \div 18.9 = 5.29$ C d P*.

$44.25 \times 5.29 = 234.08$ ppm de P los que se deben aplicar para llegar a la disponibilidad deseada.

Con este cálculo se procedió a tratar 5 suelos del estudio para comprobar la existencia del C d P. Los datos obtenidos se presentan en el Cuadro 9. Así queda probado que se puede expresar en términos del C d P la existencia de una relación entre el fósforo aplicado y el fósforo disponible. Se debe afinar el método para encontrar el coeficiente C d P para condiciones de campo.

Este coeficiente C d P se calculó únicamente con trabajo de laboratorio y con muestras de 5 series diferentes pero tomadas de un mismo lugar. Para conocer cual es el coeficiente C d P de un suelo deben recolectarse muestras de diferentes zonas que tengan la misma serie de suelos y obtener un promedio para ser aplicado en forma general.

* C d P = Coeficiente de disponibilidad de Fósforo.

Cuadro 5. Características del Mineral de Arcilla que componen a los suelos estudiados para evaluar la fijación y disponibilidad del Fósforo en 14 series de suelos de Guatemala.

Serie	% de Arcilla	Valor X en ppm de P	% de Fijación	Tipo de Arcilla
Chixocol	38.2	12.5 + 12.5	45.4	K' A ³ I ³ MC
Ixtán'	38.2	12.5 + 12.5	70.3	K' A ³ I ³ IS ⁴
Mongoy	28.1	12.5 + 12.5	64.1	M' V'
Ixtán''	38.2	75.0	77.6	K' T ³
Sebol	59.2	115.0	84.7	K' C ²
Guatemala	34.0	50.0	78.3	K' A ³ MC'
Aluviales	48.7	150.0	82.9	V ² C ² K ³ IS ³
Cuyotenango	42.4	200.0	85.0	K' A ³ I ⁴
Quiché	34.1	150.0	91.6	K' I ³
Morán	38.2	250.0	89.7	K' I ³
Barberena	44.5	225.0	90.4	K' A ²
Camanchá	34.0	350.0	98.2	A'
Carchá	25.6	500.0	96.7	A' V ⁴
Sinaché	29.8	800.0	94.2	A'
Civijá	31.5	225.0	91.5	A' V ³

4.3 Tipo de Arcilla

En el Cuadro 4 aparece el encabezamiento de la quinta columna como tipo de arcilla abajo de este encabezamiento hay letras y exponentes, los cuales deben ser leídos así:

Letras

- A. Amorfo
- C. Clorita
- I. Illita
- K. Kaolinita
- M. Montmorillonita
- V. Vermiculita
- IS. Inter Stratificado
- MC. Minerales Complementarios

Exponentes

- 1. Material predominante
- 2. Cantidad considerable
- 3. Pequeña cantidad
- 4. Trazas

Cuadro 6. Valores de X del Fósforo estimado para el tratamiento de los suelos para el estudio de correlación en el invernadero, expresando este valor en ppm de P y en gramos por kilogramo de suelo.

Serie	X Expresado en ppm de P	X Expresado en gr. de TSF por 1 000 gr. de suelo	Peso de Suelo x Maceta gramos por litro
* Chixocol	12.50+12.50	0.126	1 050.0
* Ixtán'	12.50+12.50	0.126	1 100.0
* Mongoy	12.50+12.50	0.126	1 150.0
Ixtán''	75.00	0.380	1 100.0
Sebol	115.00	0.582	1 050.0
Guatemala	50.00	0.253	1 050.0
Aluviales	150.00	0.759	1 050.0
Cuyotenango	200.00	1.012	1 100.0
Quiché	150.00	0.759	1 200.0
Morán	250.00	1.265	1 000.0
Barberena	225.00	1.138	1 050.0
Sinaché	350.00	1.771	850.0
Carchá	500.00	2.500	700.0
Camanchá	300.00	1.518	850.0
Civiá	225.00	1.138	700.0

* Indica error de cálculo cometido y se aplicó 25 ppm de P en lugar de 12.5 ppm de P.

Cuadro 7. Valores de Fósforo disponible en ppm después de la fijación lenta en el invernadero, por un tiempo de 16 semanas, dejando secar al suelo por cuatro veces en ciclos que consisten en tamización a 8 mesh y luego llevados a capacidad de campo.

Suelo	Tratamiento 0	Tratamiento 1/2X	Tratamiento X	Tratamiento 2X
Chixocol	26.75	37.45	37.90	47.80
Ixtán'	9.40	13.30	11.60	21.00
Mongoy	14.05	50.10	65.00	100.00
Ixtán''	5.50	10.00	17.50	27.85
Sebol	1.75	4.30	11.60	29.90
Guatemala	3.50	4.80	9.70	19.15
Aluviales	0.65	6.15	14.85	36.50
Cuyotenango	1.30	7.00	13.45	34.20
Quiché	4.80	13.30	19.15	63.15
Morán	0.65	4.80	10.00	29.00
Barberena	0.65	2.85	9.70	26.75
Sinaché	0.65	3.50	4.65	13.30
Carchá	0.00	0.65	2.85	5.50
Camanchá	0.65	1.30	4.10	11.60
Civija'	3.50	2.00	4.80	7.00

Cuadro 8. Fijación lenta en el invernadero, porcentajes de fijación de Fósforo, calculado para 15 suelos de Guatemala, usando el método de fijación lenta a 3 niveles de Fósforo aplicado.

Suelo	Tratamientos en ppm de P			% de Fijación Según Cálculo		
	1/2X	X	2X	1/2X	X	2 X
Chixocol	12.5	25.0	50.0	14.40	55.40	57.90
Ixtán'	12.5	25.0	50.0	68.80	91.20	76.80
Mongoy	12.5	25.0	50.0	-----	-----	-----
Ixtán''	32.5	75.0	150.0	86.15	84.00	85.70
Sebol	57.5	115.0	230.0	95.56	91.43	87.76
Guatemala	25.0	50.0	100.0	94.80	87.60	84.35
Aluviales	75.0	150.0	300.0	92.67	90.53	88.05
Cuyotenango	100.0	200.0	400.0	94.30	93.92	91.78
Quiché	75.0	150.0	300.0	88.66	90.43	80.55
Morán	125.0	250.0	500.0	96.68	96.26	94.33
Barberena	112.5	225.0	450.0	98.04	95.98	94.20
Sinaché	400.0	800.0	1 600.0	99.84	99.57	99.32
Carchá	175.0	350.0	700.0	99.63	99.19	99.21
Camanchá	150.0	300.0	600.0	98.10	98.67	97.89
Civijs'	112.5	225.0	450.0	101.33	99.42	99.22

$$\% \text{ de Fijación} = \frac{(P \text{ inicial} + P \text{ aplicado}) - P \text{ Disponible}}{P \text{ Aplicado}} \times 100$$

Cuadro 9. Comprobación de la existencia de una relación entre el Fósforo aplicado y el % de Fósforo disponible que puede expresarse en términos de un coeficiente de disponibilidad de Fósforo (C d P) para 5 suelos de Guatemala.

	Chixocol	Mongoy	Ixtán'	Guatemala	Aluviales
Valor del Fósforo disponible deseado, expresado en ppm.	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Nivel de P disponible según análisis en ppm.	36.50	18.50	10.22	7.92	5.75
Cantidad de P adicional necesaria para tener 50 ppm de P disponible según cálculo	13.50	31.50	39.78	42.08	44.25
Porcentaje de disponibilidad de P	54.60	36.30	21.80	22.20	18.90
Coeficiente (C d P)	1.83	2.75	4.58	4.50	5.29
Cantidad calculada de P necesario para llevar a 50 ppm de P disponible según análisis	24.70	85.65	182.19	189.36	234.08
Resultado analítico después de l tratamiento	42.99	45.46	46.77	54.81	46.57

Los trabajos de correlación llevados a cabo en el Laboratorio e Invernadero, puede ser que no tengan valor para aplicarlo con el objeto de obtener niveles adecuados de fertilidad, si no existe un método de análisis que funcione adecuadamente. Con tal fin se correlacionó el método de análisis del suelo con la producción de materia seca en el invernadero. Esta correlación será hecha según la técnica de Cate y Nelson (5) y se usará la fórmula:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Producción sin Fósforo}}{\text{Producción con Fósforo}} \times 100$$

Fueron efectuados ligeros cambios en esta técnica, siendo limitado el eje del % de Producción a un mínimo de 80% y tomando la máxima producción con Fósforo como el Divisor para evitar tener valores mayores de 100% de producción. Además la línea del nivel crítico será considerado como un rango. Hubo necesidad de hacer una selección de los suelos con el objeto de obtener mejor correlación, debido que es una meta del presente trabajo; se presentan los datos en dos gráficos (Apéndice). Con todos los suelos, se obtienen siete puntos en el cuadrante superior negativo y uno en el cuadrante inferior negativo. Al eliminar los suelos con alto contenido de material amorfo, estos puntos de correlación negativa quedan reducidos a dos. Este nos hace pensar en la posibilidad de un nivel crítico distinto para suelos con alto contenido de material amorfo. En aquellos suelos que contengan una cantidad alta de material amorfo es necesario hacer un estudio por separado debido a que presentan características muy especiales en comparación con los otros suelos estudiados.

En el Cuadro 10 (Apéndice), se presentan los datos de análisis del suelo, rendimiento y otros que son necesarios conocer con el fin de saber el % de rendimiento.

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La existencia de una estrecha relación entre el fósforo aplicado y el por ciento de fósforo disponible, el cual varía entre las diferentes series de suelos estudiados, quedó establecida. Esta relación se puede expresar matemáticamente como el coeficiente de disponibilidad del Fósforo (C d P).
2. El nivel crítico de 19 ppm de Fósforo disponible ya establecido da buena correlación con el rendimiento vegetal para los suelos que tienen cualquier mineral de arcilla bien cristalizado.
3. El material amorfo tiene una tendencia a fijar grandes cantidades de fósforo y la fijación rápida llevada a cabo en el Laboratorio, no da un buen índice para evaluar esta propiedad.
4. No fue posible establecer un nivel crítico para suelos con alto contenido de material amorfo debido a la mala correlación mostrada en la experimentación entre estos suelos y los demás.

Recomendaciones

1. Hacer uso de la técnica descrita a fin de conocer el valor del coeficiente C d P. Este trabajo se debe hacer primero en forma experimental con el fin de establecer su posible uso al hacer las recomendaciones sobre el uso de fertilizante fosfatado. Este trabajo puede ser desarrollado conjuntamente con el Ministerio de Agricultura y la Universidad de San Carlos, a través de la Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola y la Facultad de Agronomía.
2. La técnica de muestreo y análisis de suelos debe ser usada en la planificación de trabajos de experimentación agronómica y parcelas demostrativas para asegurar que el fósforo no será un factor que limite los rendimientos.
3. No debe recomendarse aplicaciones al voleo de fertilizante fosfatado en suelos con apreciables cantidades de material amorfo.

4. Se recomienda explorar el uso de la técnica descrita por Fieldes y Perrott (15) para caracterizar semi-cuantitativamente la cantidad de alofano o material amorfo.

Vo. Bo.

Ing. Agr. Rodolfo Perdomo M.
Asesor

Imprímase

Ing. Agr. René Castañeda P.
Decano

VI BIBLIOGRAFIA

1. BLACK, E. A. Soil Plant Relationships. 2a. ed. New York, John Wiley & Sons Inc, 1968 . pp 559-653.
2. BARBER, S. A. 'et al'. A Simposium Hunger Signs in Crops. 3a. ed. New York David Mc Kay Co, 1964. pp 29-31, 48, 73, 92, 104, 172, 210, 240.
3. BALBERDI, F. MULLER, L. FASSBENDER, H. W. Estudio del Fósforo en Suelos de América Central. III Comparación de Cinco Métodos Químicos de Análisis de Fósforo Disponible. Reimpreso No. 380, Separado de Turrialba 18 (4): 348-360. 1968
4. BIRRELL, K. S. Some Properties of Volcanic Ash Soils. In F.A.O. Report No. 14 on Meeting on Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash. Tokyo, 1964. pp 74-81.
5. CATE, ROBERT, B. y NELSON LARRY, A. Un Método Rápido para Correlación de Análisis de Suelos con Ensayos de Fertilizantes. Carolina del Norte, Universidad, Estación Experimental Agrícola 'y' A.I.D., 1965. Boletín Técnico No. 1.
6. CASTILLO ORELLANA, SALVADOR. Investigación de Diferentes Agentes Dispersantes en el Análisis Mecánico por el Método del Hidrómetro (Bouyoucus). Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1969. 57 p. (Tesis Ing. Agrónomo).
7. FOX, ROBERT. Phosphorous Fixation by Hawailan Soils and What to do About it. First Annual Hawaii Fertilizer Conference Wednesday, March 29, 1967. 28-41 pp.
8. FASSBENDER, H.W. Curso de Química de Suelos, Turrialba, Costa Rica, IICA, 1968. 221 p.
9. FASSBENDER, H.W. y MULLER, L. Uso de Enmiendas Silicatadas de Suelos Altamente Fijadores de Fósforo y Efecto de las Aplicaciones de Melasilicato de Sodio. Reimpreso 345 de Turrialba 17, (4):371. 1967.
10. FASSBENDER, H. W. La Adsorción de Fósforo en Suelos Fuertemente Acidos y su Evaluación usando la Isoterma de Langmuir. Separado de Fito-tecnia Latino Americana 3. (1 y 2): 203-216. 1966.

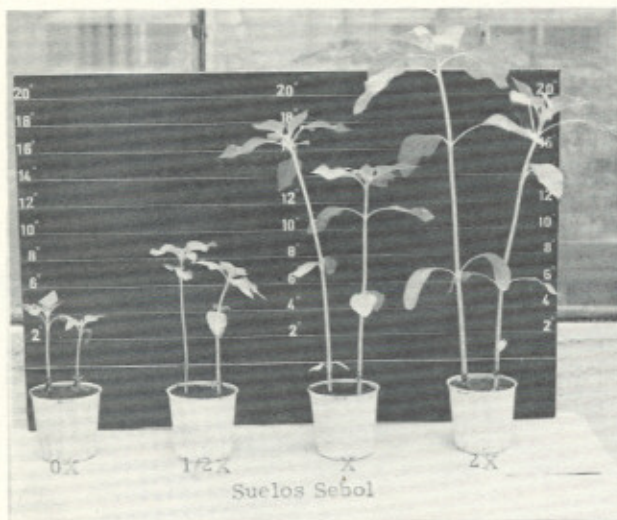
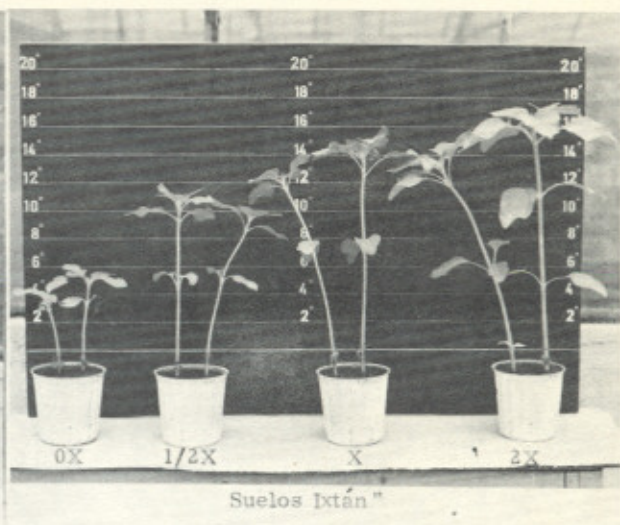
10. FASSBENDER, H. W. La Adsorción de Fósforo en Suelos Fuertemente Acidos y su Evaluación usando la Isotherma de Langmuir. Separado de Fito-tecnia Latino Americana 3. (1 y 2): 203-216. 1966.
11. FASSBENDER, H. W., MULLER, L. y BALERDI, F. Estudio del Fósforo en Suelos de América Central II Formas y su Relación con las Plantas. Reimpreso No. 379 separado de Turrialba 18(4): 333-347. 1968.
12. FASSBENDER, H. W. Deficiencia y Fijación de Fósforo en Suelos derivados de Cenizas Volcánicas de Centro América. "En: Panel sobre Suelos derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. San Jose, Costa Rica; s.c.e." 1969'.
13. FASSBENDER, H. W. y MOLINA, R. Influencia de Enmiendas Calcáreas y Silicatadas sobre el Efecto de Fertilizantes Fosfatados en Suelos derivados de Cenizas Volcánicas de Costa Rica. "En: Panel sobre Suelos derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina. San José, Costa Rica; s.c.e." 1969'.
14. FITTS, J. W. "et al". Evaluación de la Fertilidad del Suelo en la América Latina; Análisis de Suelos y Plantas. Carolina del Norte, Universidad, Estación Experimental Agrícola 'y' AID, 1965. Boletín Técnico No. 2.
15. FIELDS M. and PERROTT, K. W. The nature of Allophano in Soils. Part 3 - Rapid Field and Laboratory Test for Allophane. Reprinted from the New Zealand Journal of Science, Vol. 9(3): Sept., 1966.
16. GUATEMALA. SECRETARIA GENERAL DEL CONSEJO NACIONAL DE PLANIFICACION ECONOMIA. Recopilación de Datos Estadísticos Relacionados con el Sector Agrícola de Guatemala. Guatemala, Secr. Gral. del Consejo Nacional de Planificación Económica, 1969. 651 p. "Mimeógrafo".
17. GUATEMALA. MINISTERIO DE ECONOMIA, DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA. Guatemala en Cifras, 1957. 167 p.
18. GUATEMALA. MINISTERIO DE ECONOMIA: DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA. Estimación de Cosechas y Existencia de Ganado; Año Agrícola 1965-66. Primera Encuesta Agropecuaria Efectuada el 8 de Mayo de 1966. Guatemala, Dirección General de Estadística, 1966. Folleto No. 10.
19. GRIM, RALPH E. Clay Mineralogy. New York, McGraw-Hill Book Company, Inc. 1953. 384 p.

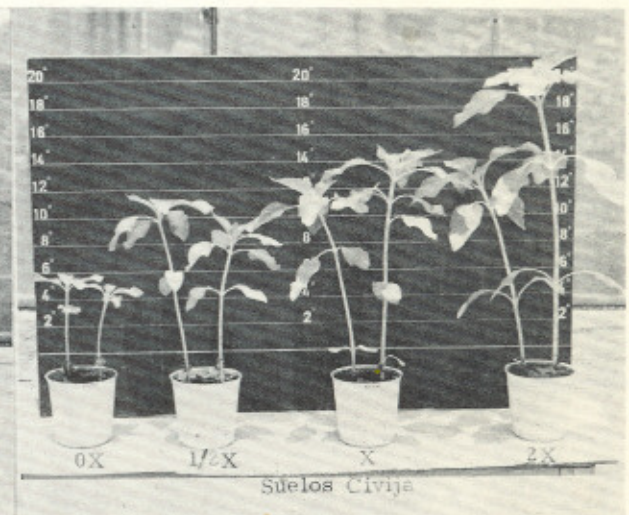
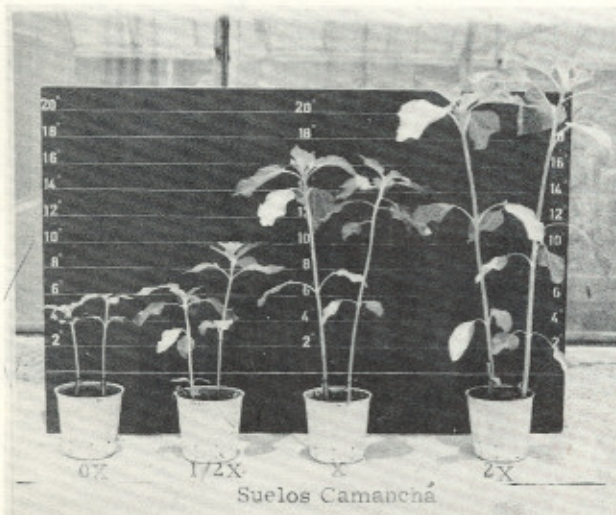
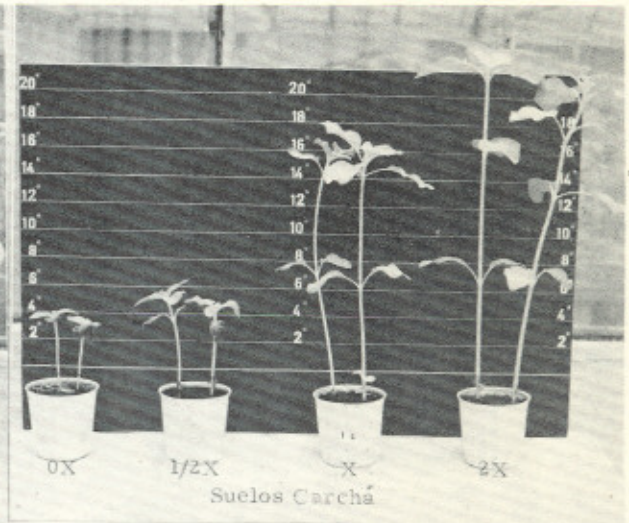
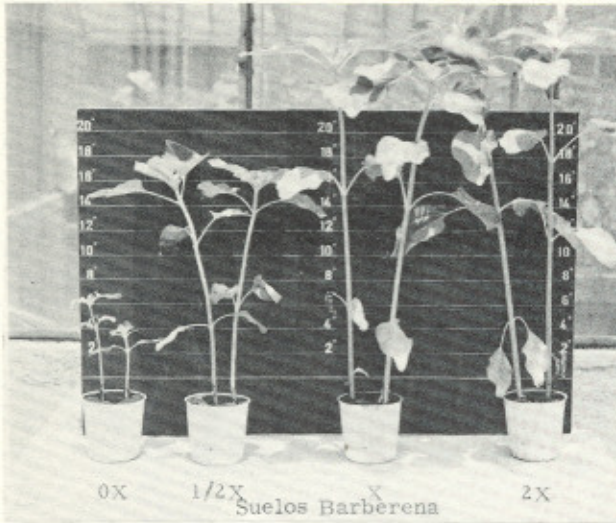
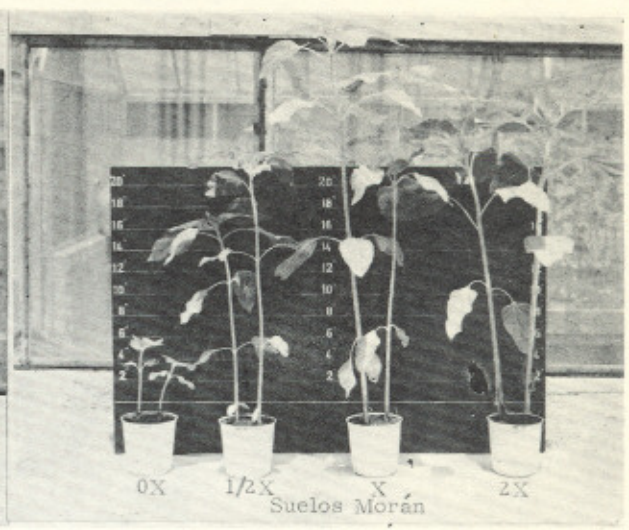
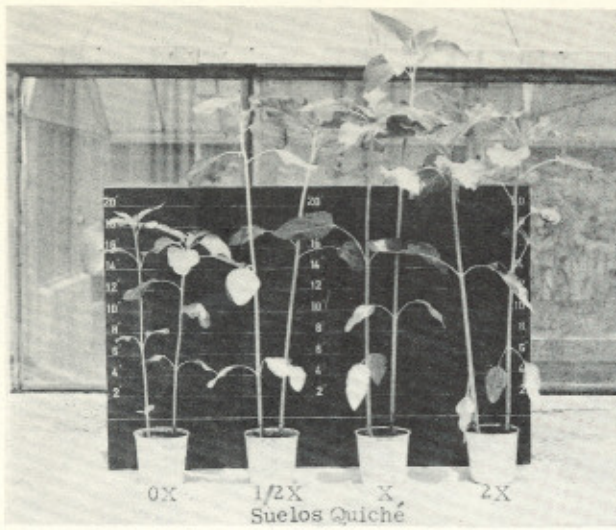
20. HEMWALL, JOHN B. The Fixation of Phosphorous by Soils. In *Advances in Agronomy*; New York, Academic Press, Vol. IX (95-111): 1957.
21. HOLDRIDGE, L. W. Texto Explicativo del Mapa de Zonificación Ecológica de Guatemala según sus Formaciones Vegetales; Extracto a Cargo de José Ramírez Bermúdez. Guatemala, Ministerio de Agricultura, S. C.I.D.A. 1959. 16 p.
22. JACOB, H. S., REED, R.M. *Soils Laboratory Exercise Source Book*. Wisconsin, American Society of Agronomy, 1964. 111 p.
23. KAMPRATH, E. J. Residual Effect of Large Applications of Phosphorus on High Phosphorus Fixing Soils. Reprinted from the *Agronomy Journal*. Vol. 59:(25-27), 1967.
24. KOBO K. Properties of Volcanic Ash Soils. In F.A.O. Report No. 14 on Meeting on Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash. Tokyo, 1964. pp. 71-73.
25. MENENDEZ, MIGUEL E. Disponibilidad del Fósforo en 2 tipos de Suelos de El Salvador. San Salvador; Universidad, Facultad de Ciencias Agronómicas, 1966. 47 p. (Tesis Ing. Agrónomo).
26. MULLER, L. Estudio del Fósforo en Suelos de América Central I Ubicación, Características Físicas y Químicas de los Suelos Estudiados. Reimpreso No. 378. Separado de Turrialba 18(4):319-332. 1968.
27. MALAVOLTA, E. 'et al'. La Nutrición Mineral en algunas cosechas Tropicales. Sao Paulo, Brasil, Universidad; Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Berna (Suiza). Ed. por: Instituto Internacional de la Potasa, 1964. 163 p.
28. NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. *International Soil Testing. Annual Reports 1966 'y' 1967*.
29. NELSON, L.B. 'et al'. Changing Patterns in Fertilizer Use, Wisconsin, Soil Science Society of America 1968. pp. 54-57.
30. NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY. Seminar International Soil Testing Project, July 24 - August 12, 1966.
31. ORTIZ, OSCAR I. Experiencias sobre Fertilización en Guatemala. Guatemala, Ministerio de Agricultura; Dirección General de Investigación y Control Agropecuario, 1965. Boletín Técnico No. 15.

32. PHILLIPS, A.B., BOYLAN, D. R. Advances in Phosphate Manufacturing. In Fertilizer Technology and Usage. Wisconsin. Soil Science Society of America. 1963. pp. 131-185.
33. PALENCIA ORTIZ, JULIO ANIBAL. Caracterización de Algunos Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de Centro América, I.I.C.A. de la O. E.A. Centro de Enseñanza e Investigación, Turrialba, Costa Rica 1969. 168 p. (Tesis Magister Scientiae).
34. RIOS, B., MARTINI, J. A., TEJEIRA, H. Efecto del Encalado sobre la Acidez y el Contenido de Aluminio y Hierro Extractable en Suelos de Panamá. Turrialba 18(2): 139-146. 1968.
35. RICHARDS, L. A. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. 4a. Ed. México RTAC/AID, 1954. Manual de Agricultura No. 60.
36. SIMMONS, C. S., TARANO, J. M., PINTO, J. H. Clasificación de Los Suelos de la República de Guatemala, Instituto Agropecuario Nacional, 'y' Ministerio de Educación Pública "Editoria José de Pineda Ibarra" 1959. 1 000 p.
37. SWINDALE, L. D. The Properties of Soils Derived from Volcanic Ash. In F.A. O. Report No. 14 on Meeting on Classifications and Correlation of Soils from Volcanic Ash. Tokyo, 1964, pp 82-86.
38. SAIZ, J. F. y BORNEMIZAS, E. Análisis Químico de Suelos, Departamento de Energía Nuclear. Turrialba, Costa Rica, I.I.C.A./O.E.A., Centro de Enseñanza e Investigación, 1961. 103 p.
39. TISDALE, S. L., NELSON, L. W. Soil Fertility and Fertilizers, 2a. ed. New York, The Mc Millan Co; 1967. pp. 76-77, 195-253, 340, 437, 514, 521, 628.
40. TISDALE, S. L., RUEKER, D. L. Crop Response to Various Phosphates. Washington, D. C., The Sulphur Institute, June 1954. Technical Bull. No. 9.
41. URRUTA, E. CLAUDIO. Atlas Climatológico de Guatemala. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Observatorio Nacional 'e' Instituto Agropecuario Nacional '1964' 's.p'.
42. VAN der SLUIS, A. J. y PLATH, C. V. Uso Potencial de la Tierra. Parte III Guatemala. Roma, F.A.O.; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, No. 3. 1967.

43. VELA, M. R. Correlación de Análisis para Fósforo en Seis Suelos Cañeros de la Región de Córdoba en el Estado de Veracruz, Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura. 1967. 53 p. (Tesis de Maestro en Ciencias).
44. WAUGH, D. L.: FITTS, J. W. Estudios de Interpretación de Análisis de Suelo: Laboratorio y Maceta. Carolina del Norte, Universidad, Estación Experimental Agrícola (y' AID, 1966. Boletín Técnico No. 3.

A P E N D I C E





Cuadro 10. Datos para efectuar el estudio de correlación usando el Método Cate y Nelson con el fin de evaluar el análisis de suelos y la producción de materia seca.

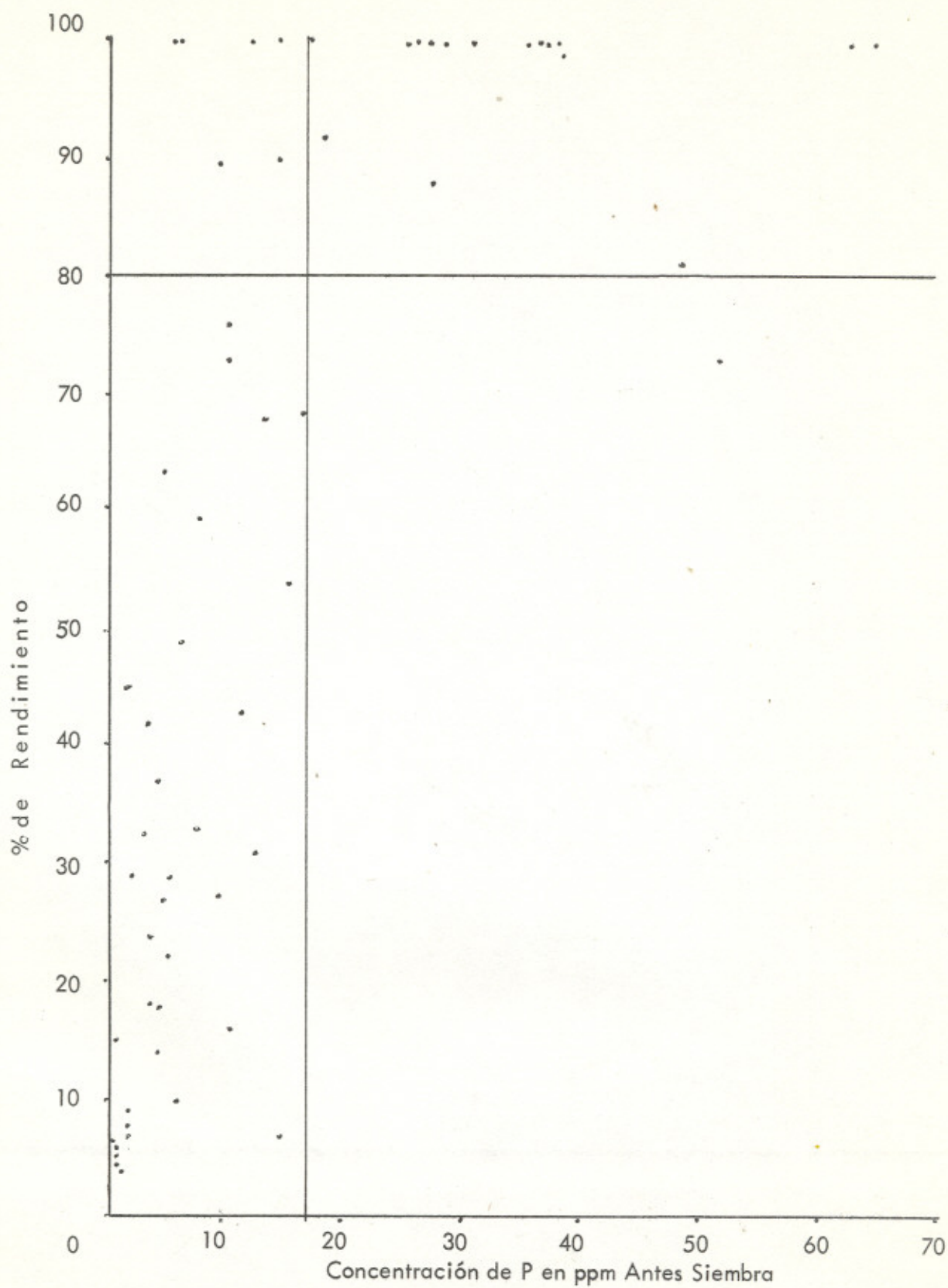
Suelo	Tratamiento aplicado en ppm de P	Valor del análisis antes de efectuar la siembra	Producción en granos de materia seca	% de Rendimiento
Chixocol	0.0	26.75	11.40	88.0
	12.5	37.45	12.96	100.0
	25.0	37.90	12.93	99.8
	50.0	47.80	10.47	80.8
Ixtán'	0.0	9.40	1.78	9.8
	12.5	13.30	5.01	27.6
	25.0	11.60	12.46	68.5
	50.0	21.00	18.18	100.0
Mongoy	0.0	14.05	1.54	7.1
	12.5	51.35	17.00	78.2
	25.0	64.07	21.73	100.0
	50.0	100.00	18.72	86.1
Ixtán''	0.0	5.0	1.03	16.0
	37.5	9.25	2.00	31.20
	75.0	16.18	2.94	45.9
	150.0	27.30	6.41	100.0
Sebol	0.0	1.52	0.90	9.0
	57.5	4.12	1.82	18.2
	115.0	10.80	4.28	42.9
	230.0	30.45	9.27	100.0

Continuación Cuadro 10

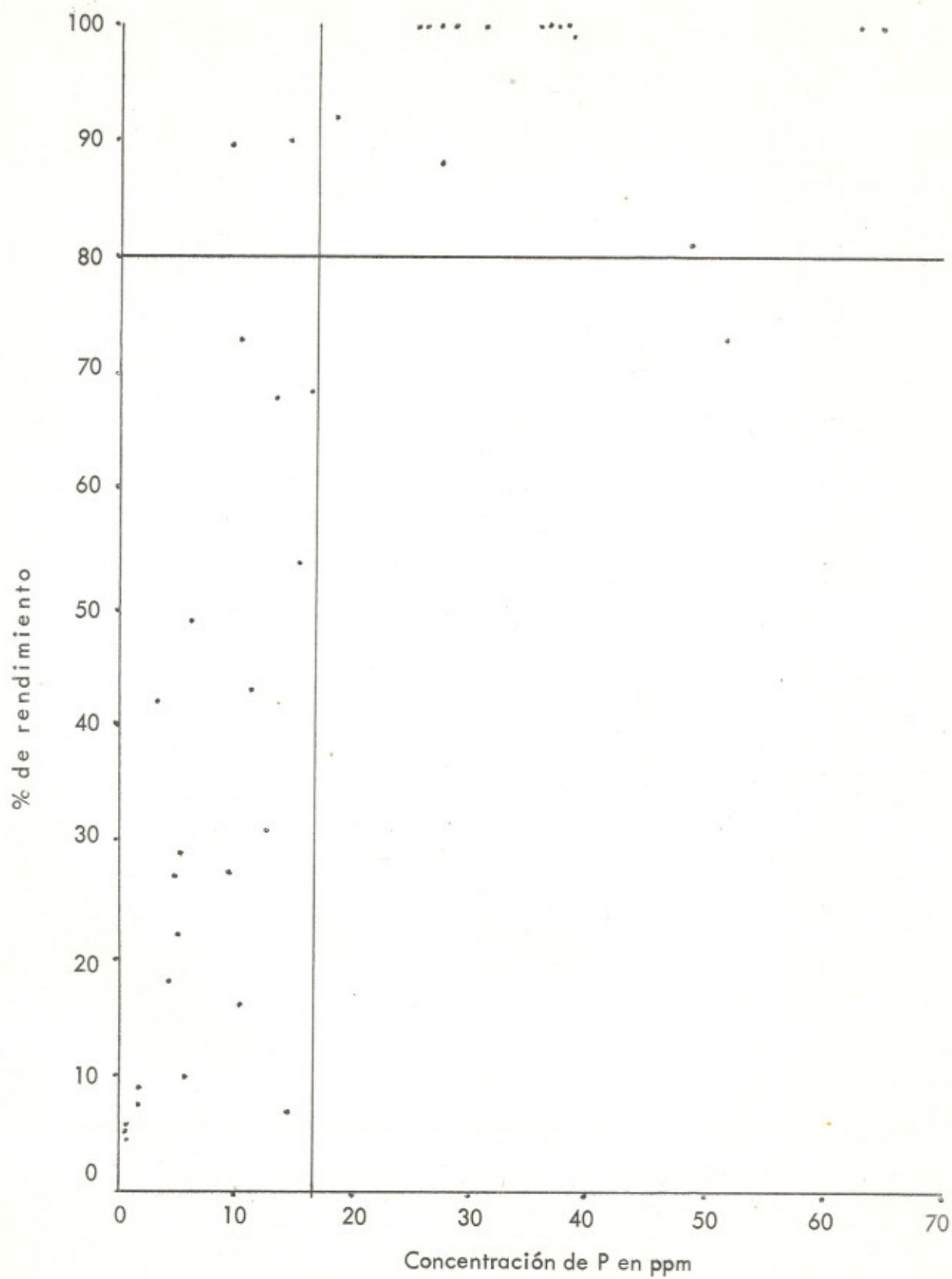
Suelo	Tratamiento aplicado en ppm de P	Valor del análisis antes de efectuar la siembra	Producción en granos de materia seca	% de Rendimiento
Guatemala	0.0	3.50	3.62	23.9
	25.0	3.82	5.66	37.4
	50.0	9.95	11.56	76.4
	100.0	17.00	15.13	100.0
Aluviales	0.0	0.65	0.73	4.7
	75.0	5.12	3.37	21.5
	150.0	14.85	8.43	53.9
	300.0	35.97	15.65	100.0
Cuyotenango	0.0	1.52	1.63	7.4
	100.0	6.25	10.78	48.6
	200.0	13.70	19.87	89.6
	400.0	34.82	22.18	100.0
Quiché	0.0	4.80	4.88	28.5
	75.0	13.05	11.67	68.2
	150.0	18.32	15.70	91.8
	300.0	62.27	17.10	100.0
Morán	0.0	0.65	1.19	5.3
	125.0	4.80	6.21	27.6
	250.0	10.00	16.41	72.8
	500.0	28.42	22.53	100.0
Barberena	0.0	0.65	0.95	5.0
	112.5	3.17	1.98	42.2
	225.0	9.37	16.98	89.7
	450.0	25.65	18.93	100.0

Suelo	Tratamiento aplicado en ppm de P	Valor del análisis antes de efectuar la siembra	Producción en granos de materia seca	% de Rendimiento
Sinaché	0.0	1.35	1.03	4.5
	40.0	1.75	6.52	28.8
	80.0	5.55	13.50	59.6
	160.0	12.00	22.66	100.0
Carchá	0.0	0.17	0.63	6.5
	25.0	0.65	1.39	15.1
	50.0	2.42	4.20	45.0
	100.0	5.50	9.15	100.0
Camanchá	0.0	1.45	0.96	7.0
	175.0	3.50	2.52	18.18
	350.0	7.32	4.68	33.0
	700.0	14.52	13.86	100.0
Civijá	0.0	3.80	1.11	14.8
	112.5	2.75	2.48	33.0
	225.0	4.62	4.70	62.6
	450.0	6.25	7.51	100.0

CORRELACION CON TODOS LOS SUELOS

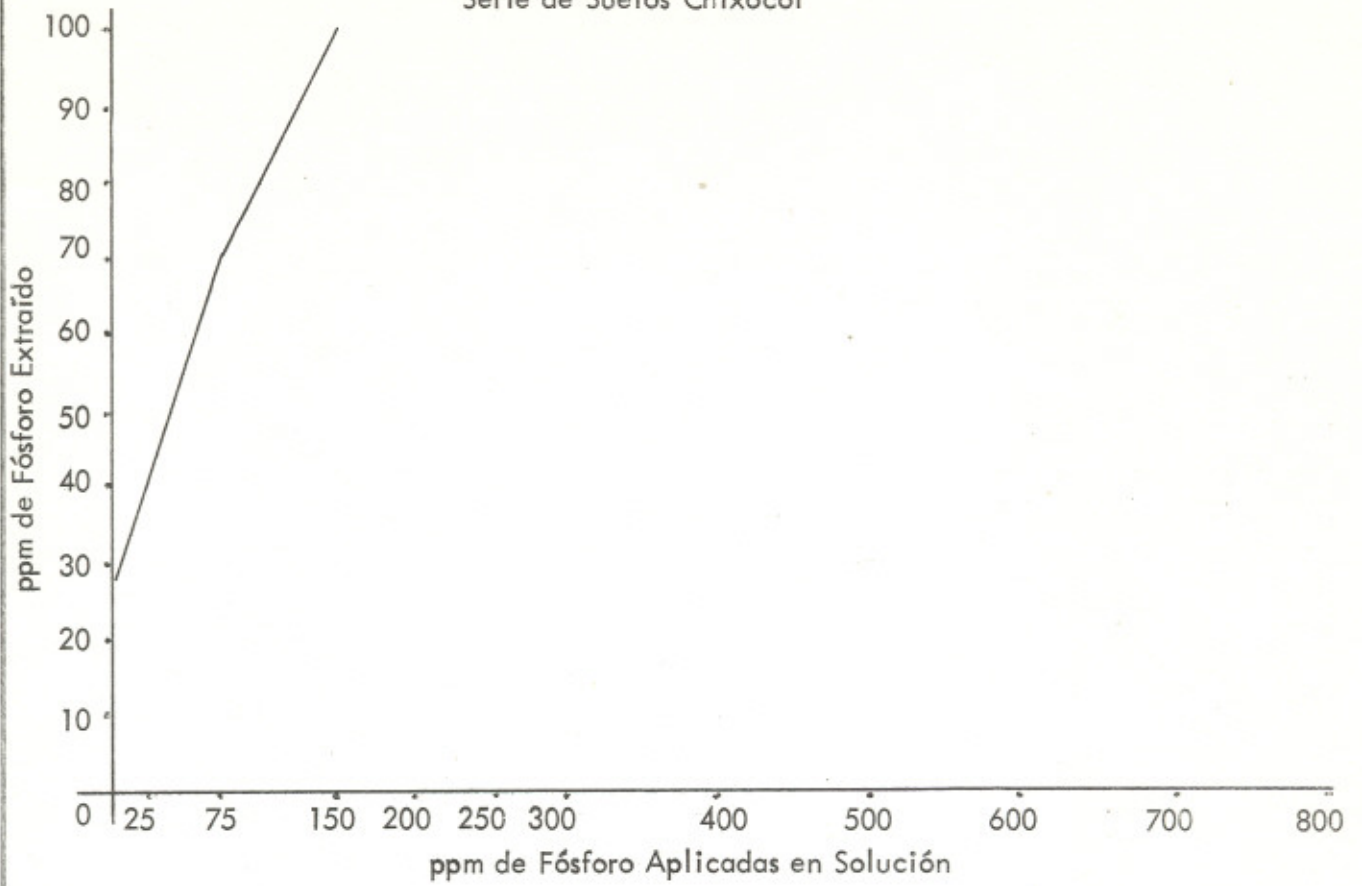


CORRELACION CON SUELOS SELECCIONADOS

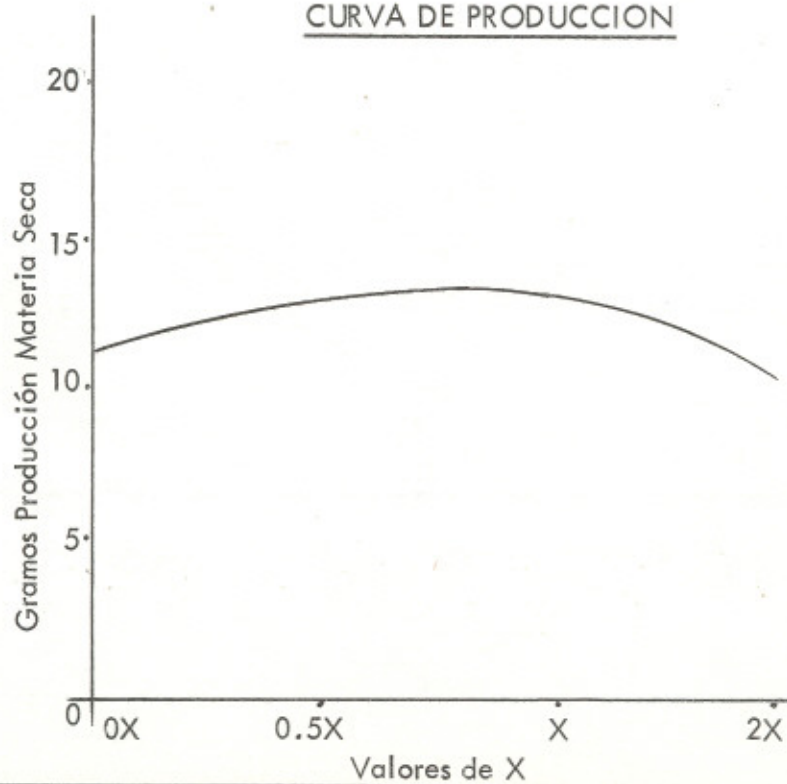


CURVA DE DISPONIBILIDAD

Serie de Suelos Chixocól

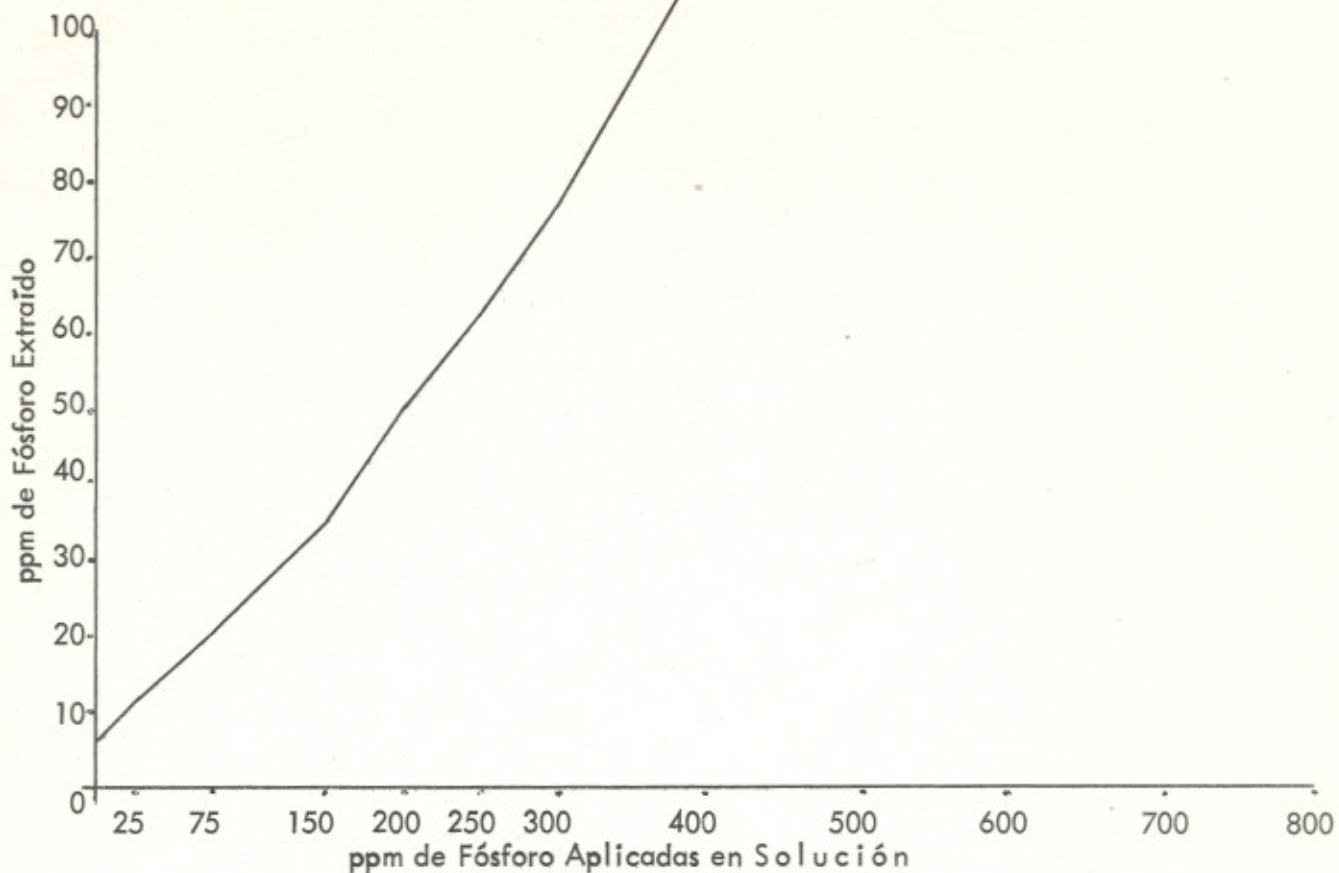


CURVA DE PRODUCCION

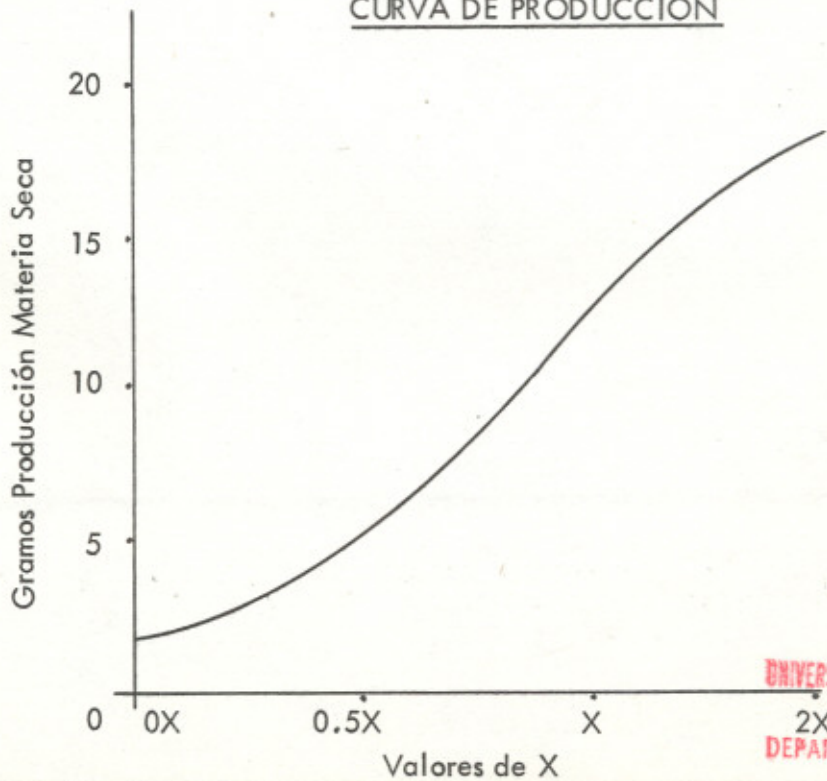


CURVA DE DISPONIBILIDAD

Serie de Suelos Ixtán'

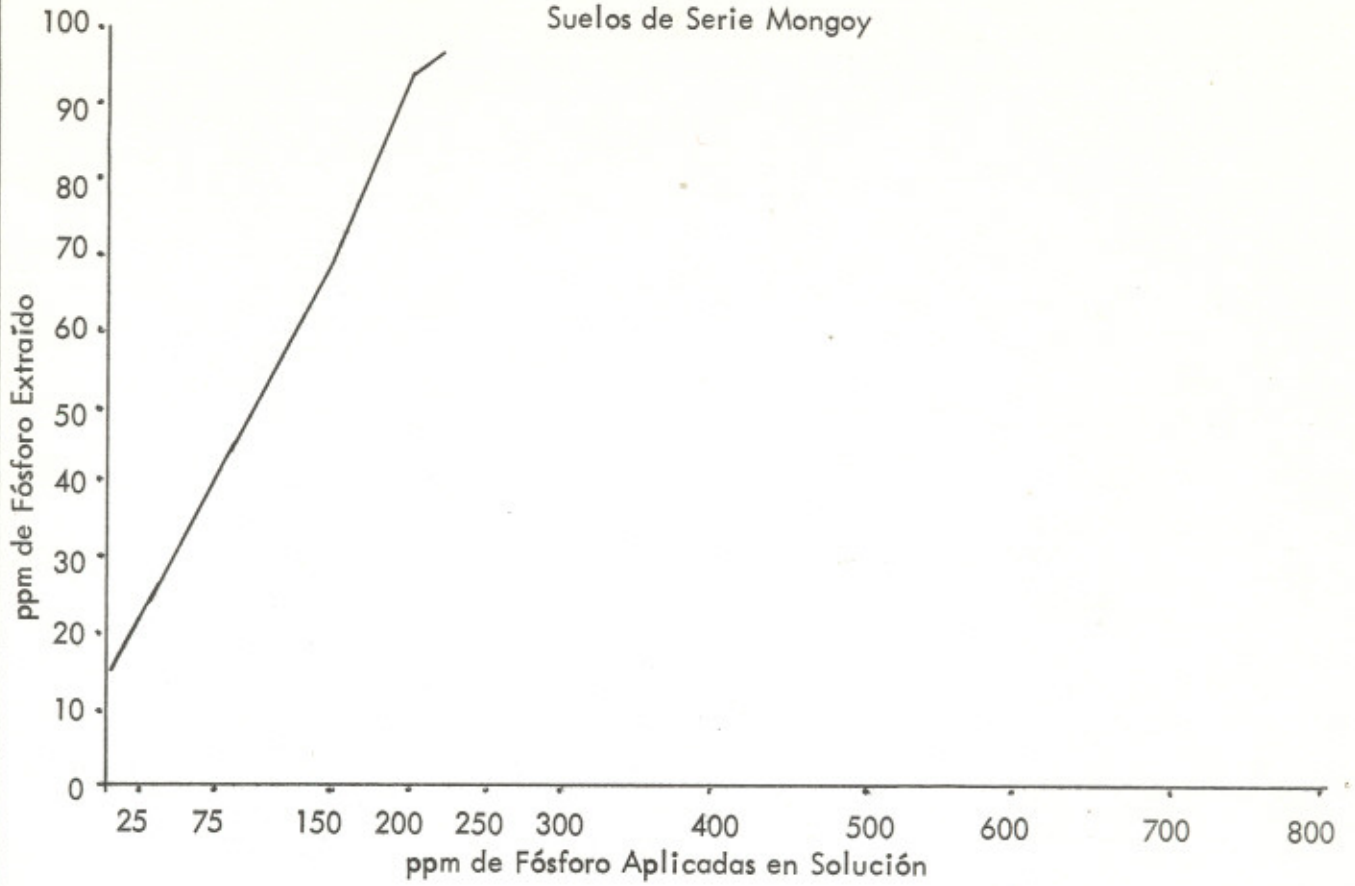


CURVA DE PRODUCCION

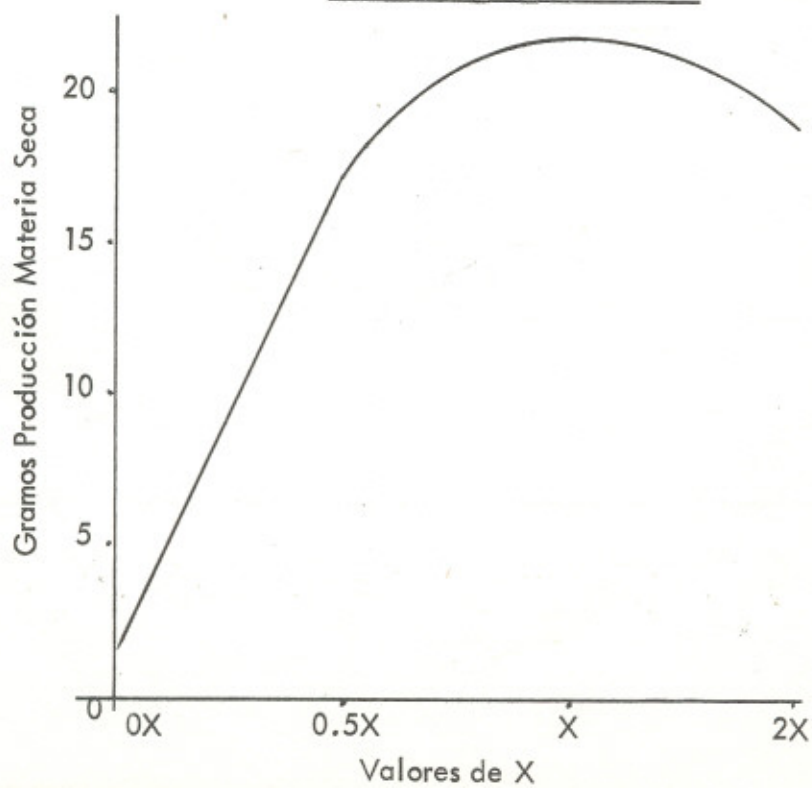


CURVA DE DISPONIBILIDAD

Suelos de Serie Mongoy

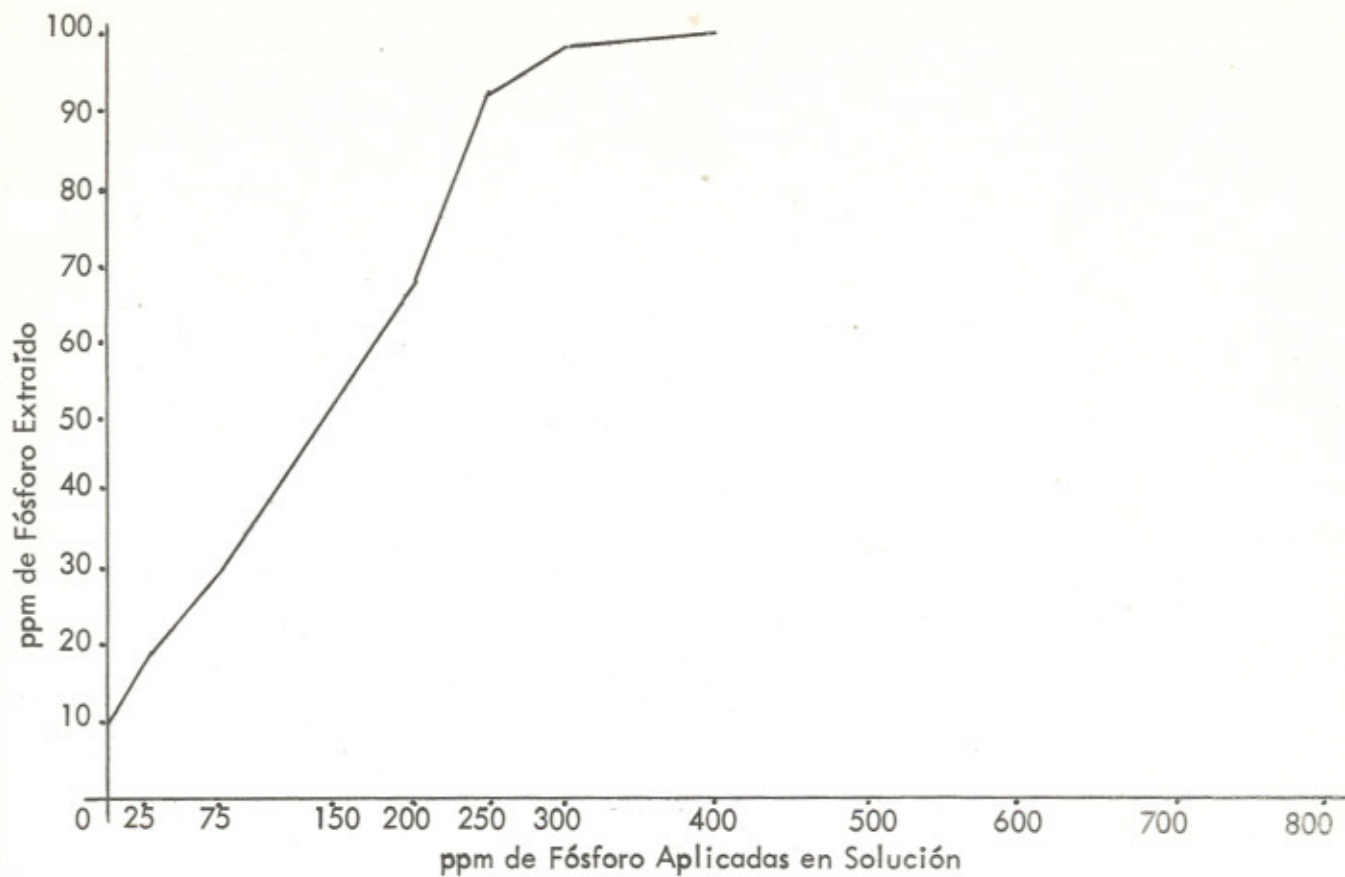


CURVA DE PRODUCCION

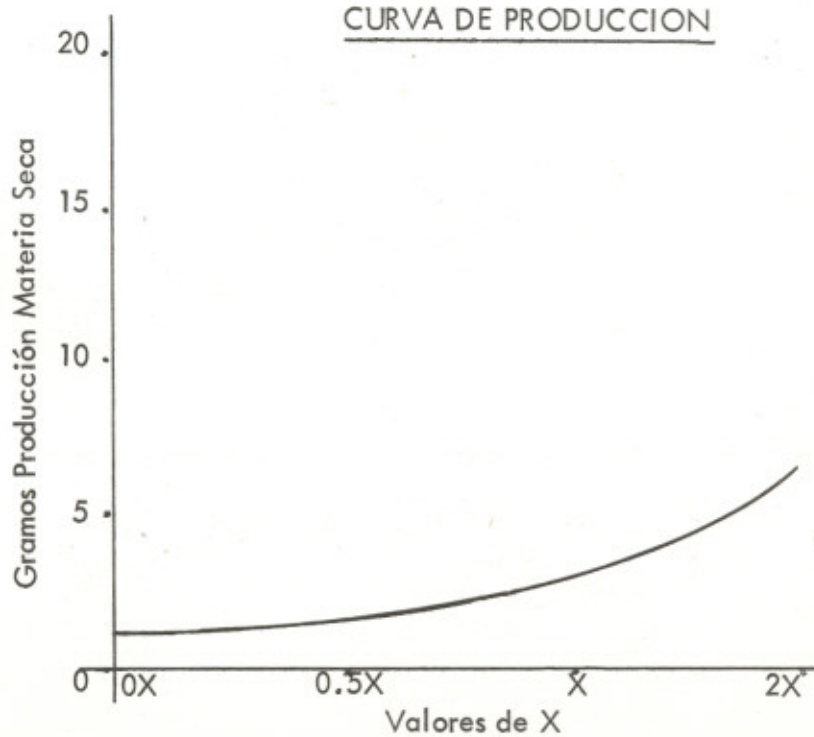


CURVA DE DISPONIBILIDAD

Serie de Suelos Ixtán¹⁴

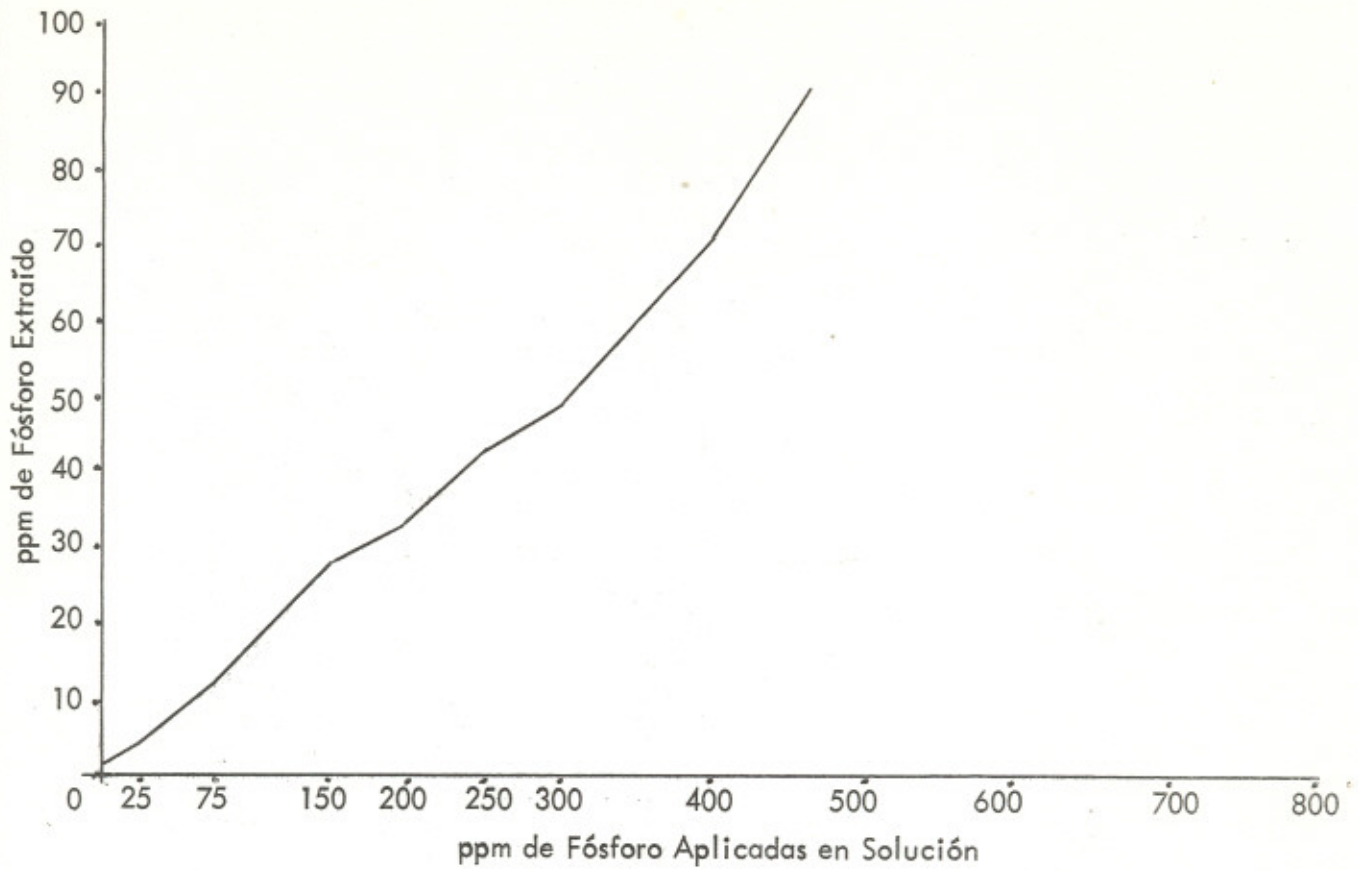


CURVA DE PRODUCCION

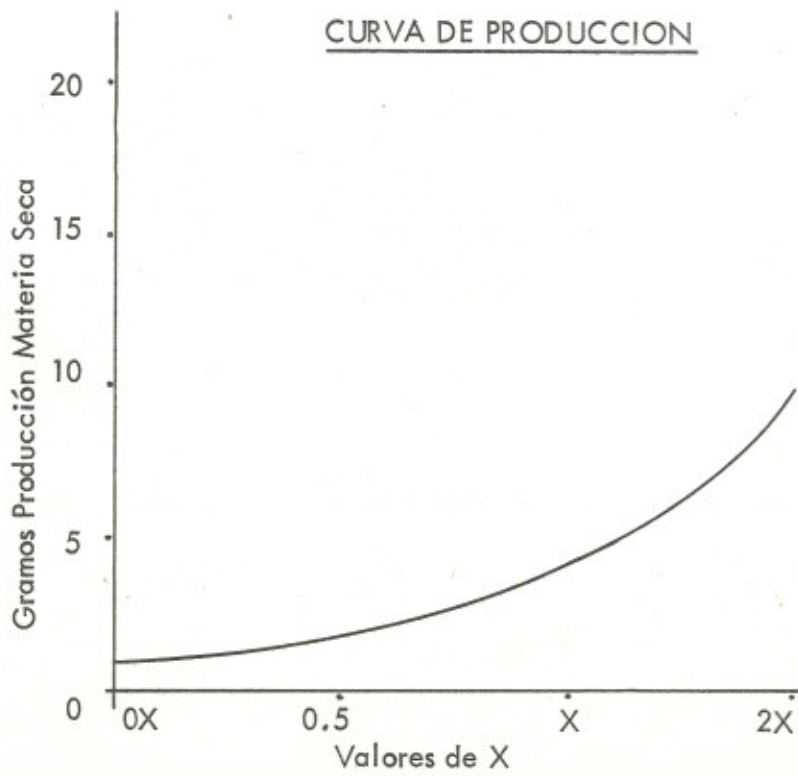


CURVA DE DISPONIBILIDAD

Serie de Suelos Sebol

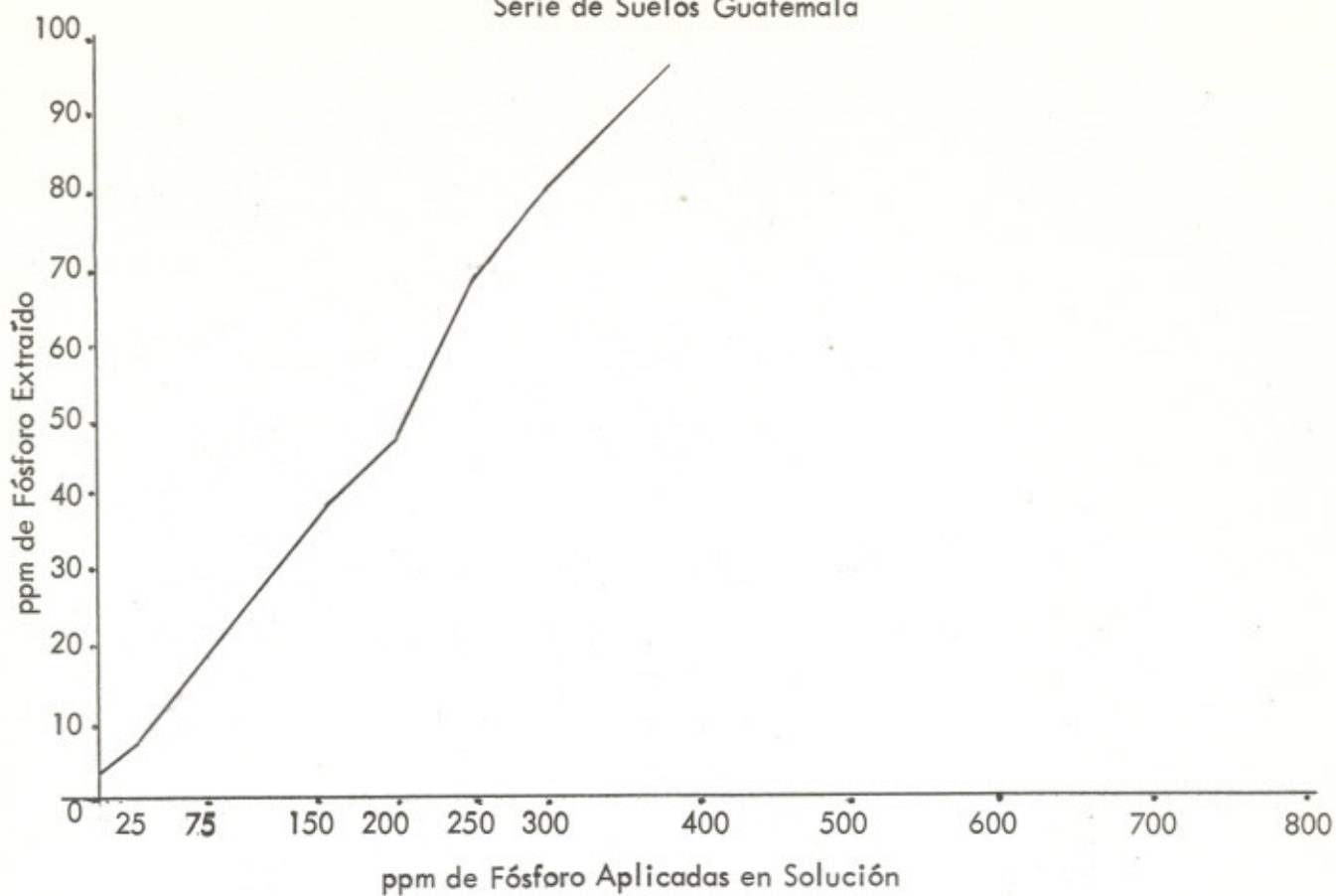


CURVA DE PRODUCCION

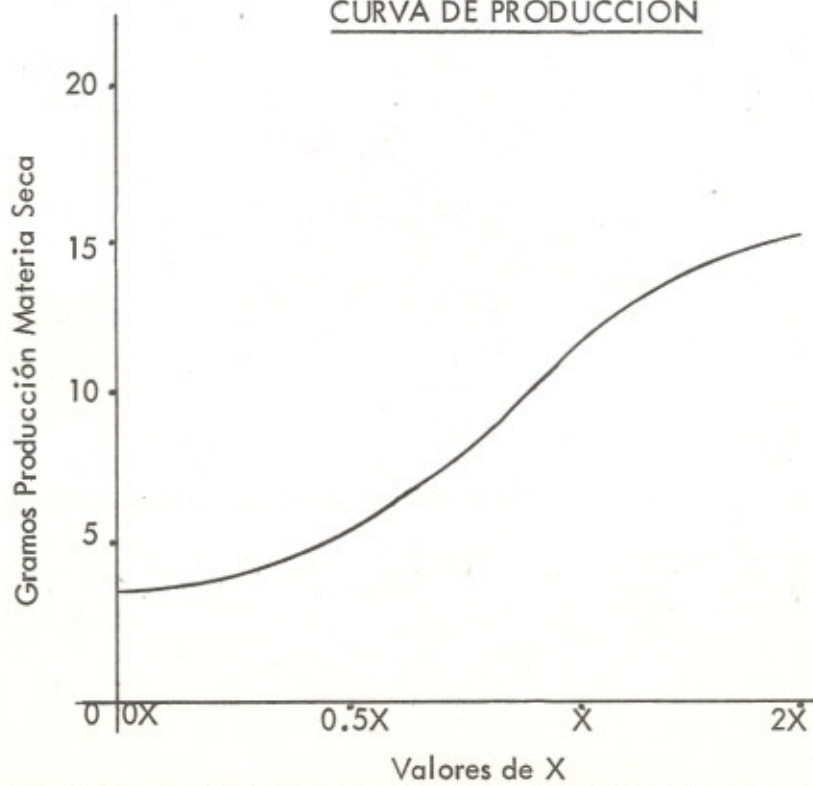


CURVA DE DISPONIBILIDAD

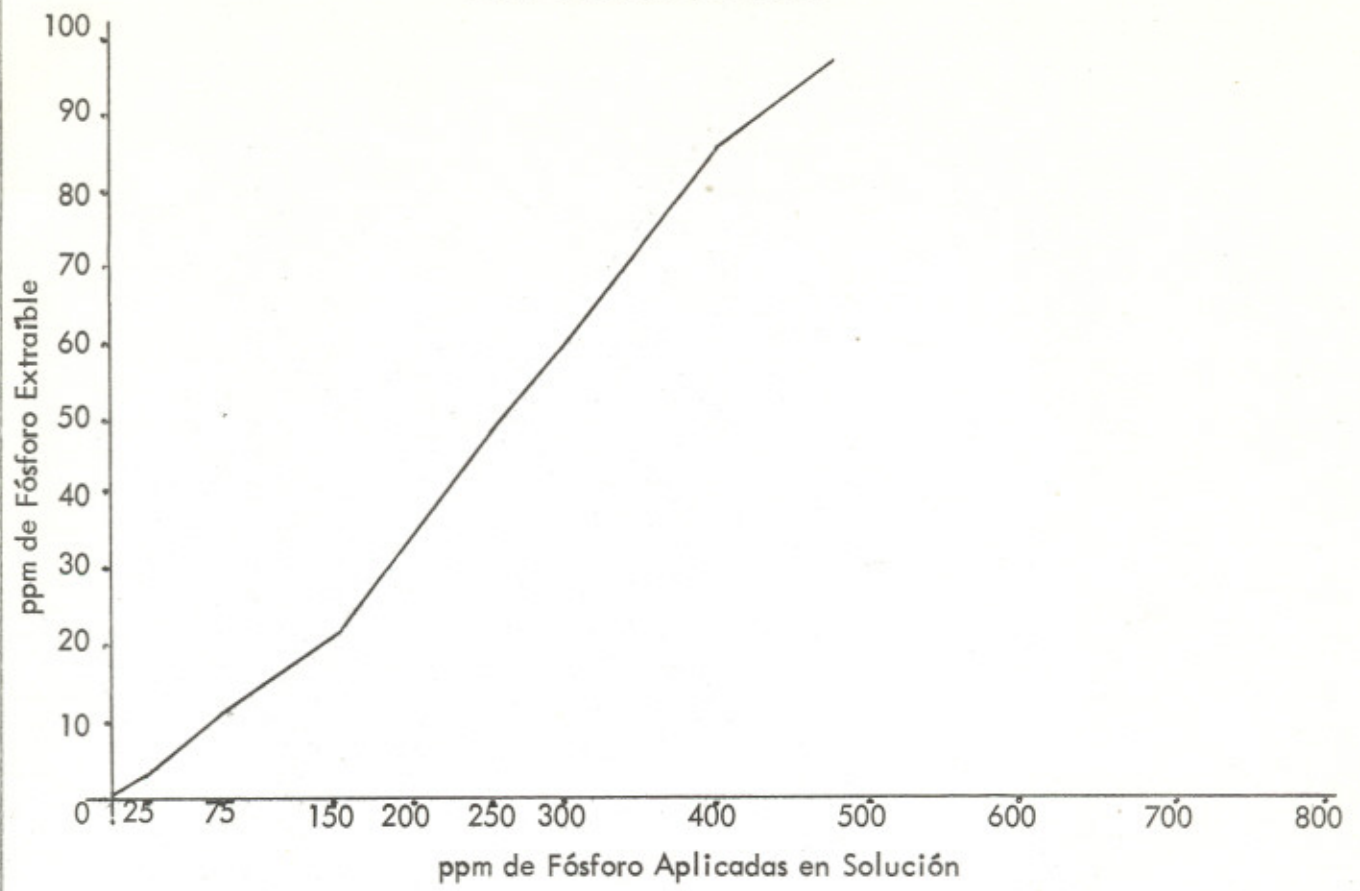
Serie de Suelos Guatemala



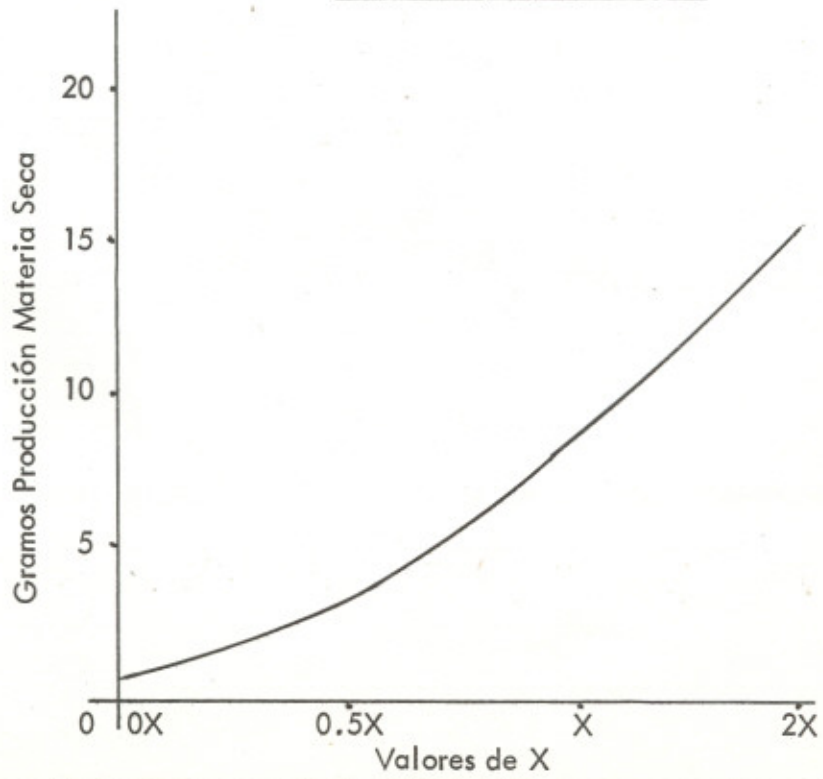
CURVA DE PRODUCCION



CURVA DE DISPONIBILIDAD
Serie de Suelos Aluviales

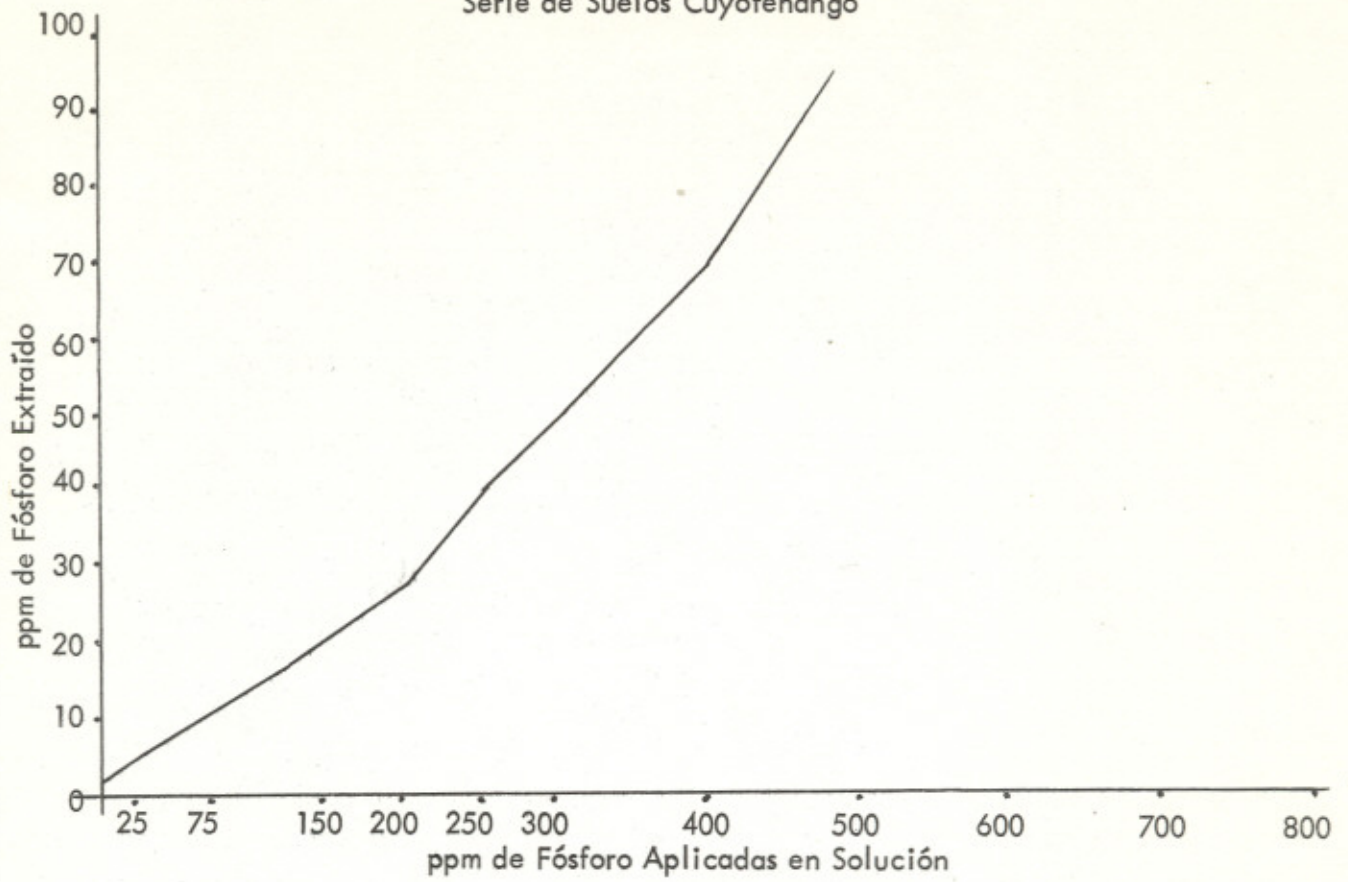


CURVA DE PRODUCCION

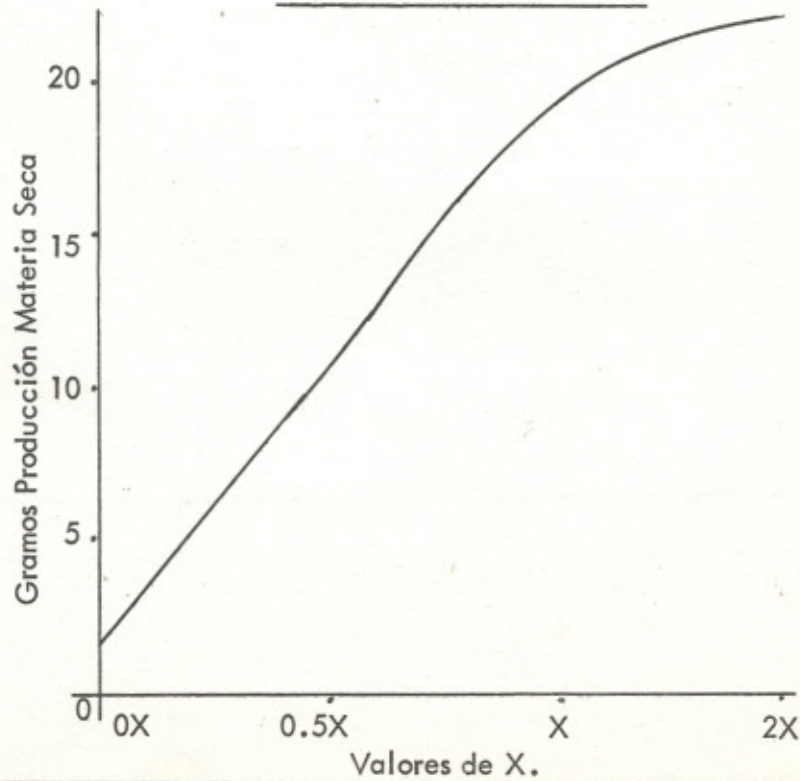


CURVA DE DISPONIBILIDAD

Serie de Suelos Cuyotenango

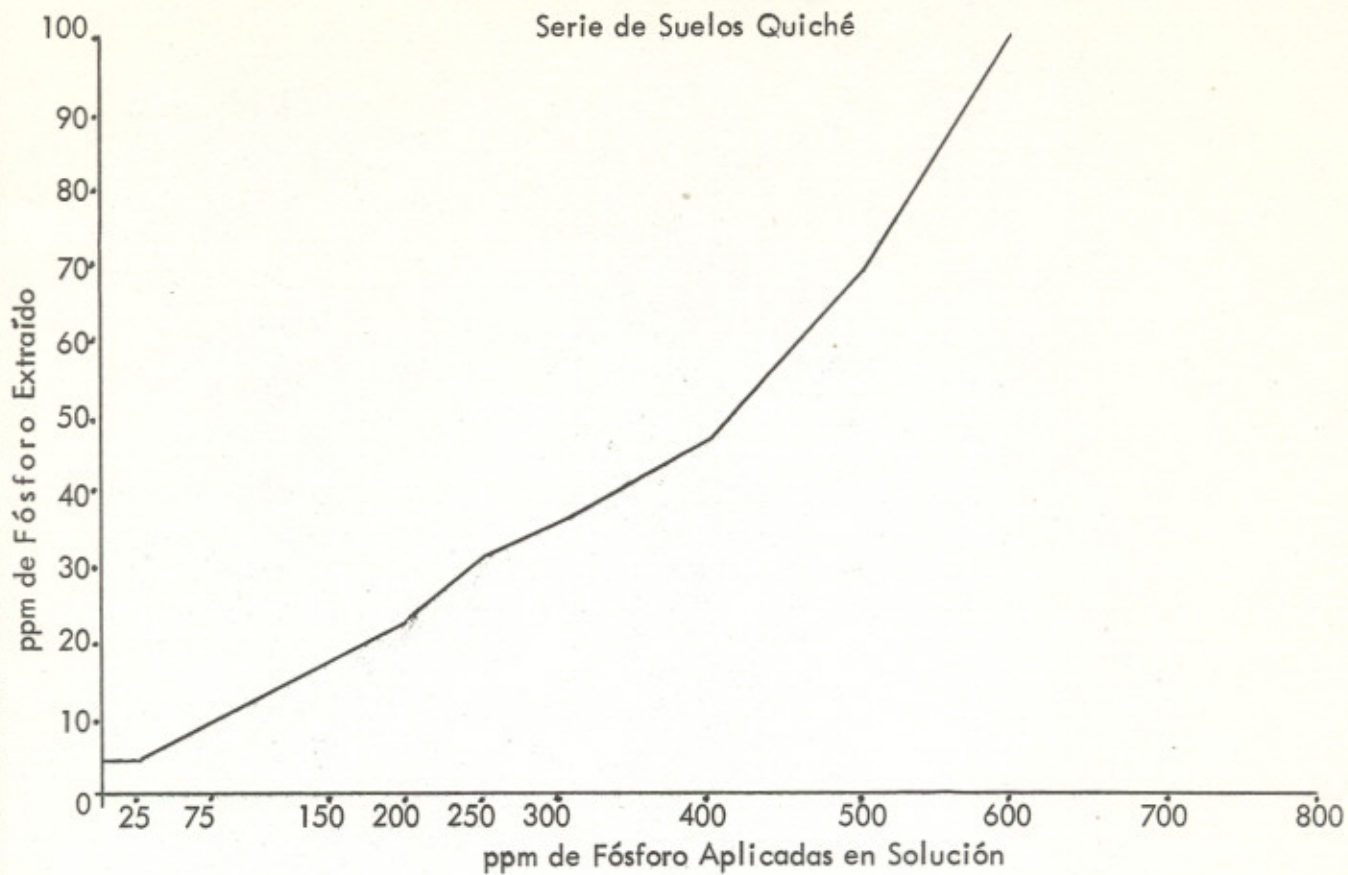


CURVA DE PRODUCCION

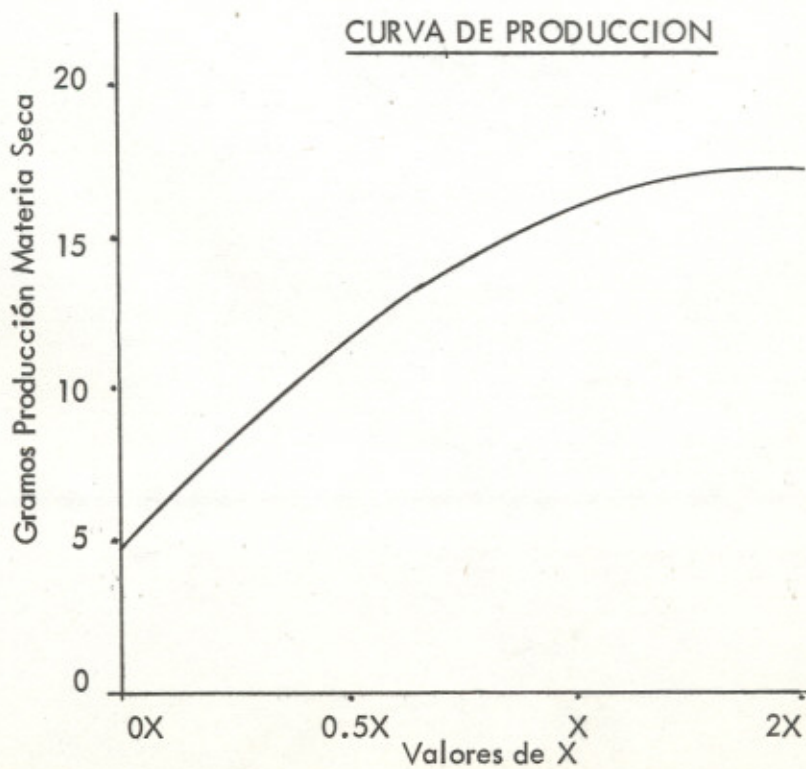


CURVA DE DISPONIBILIDAD

Serie de Suelos Quiché

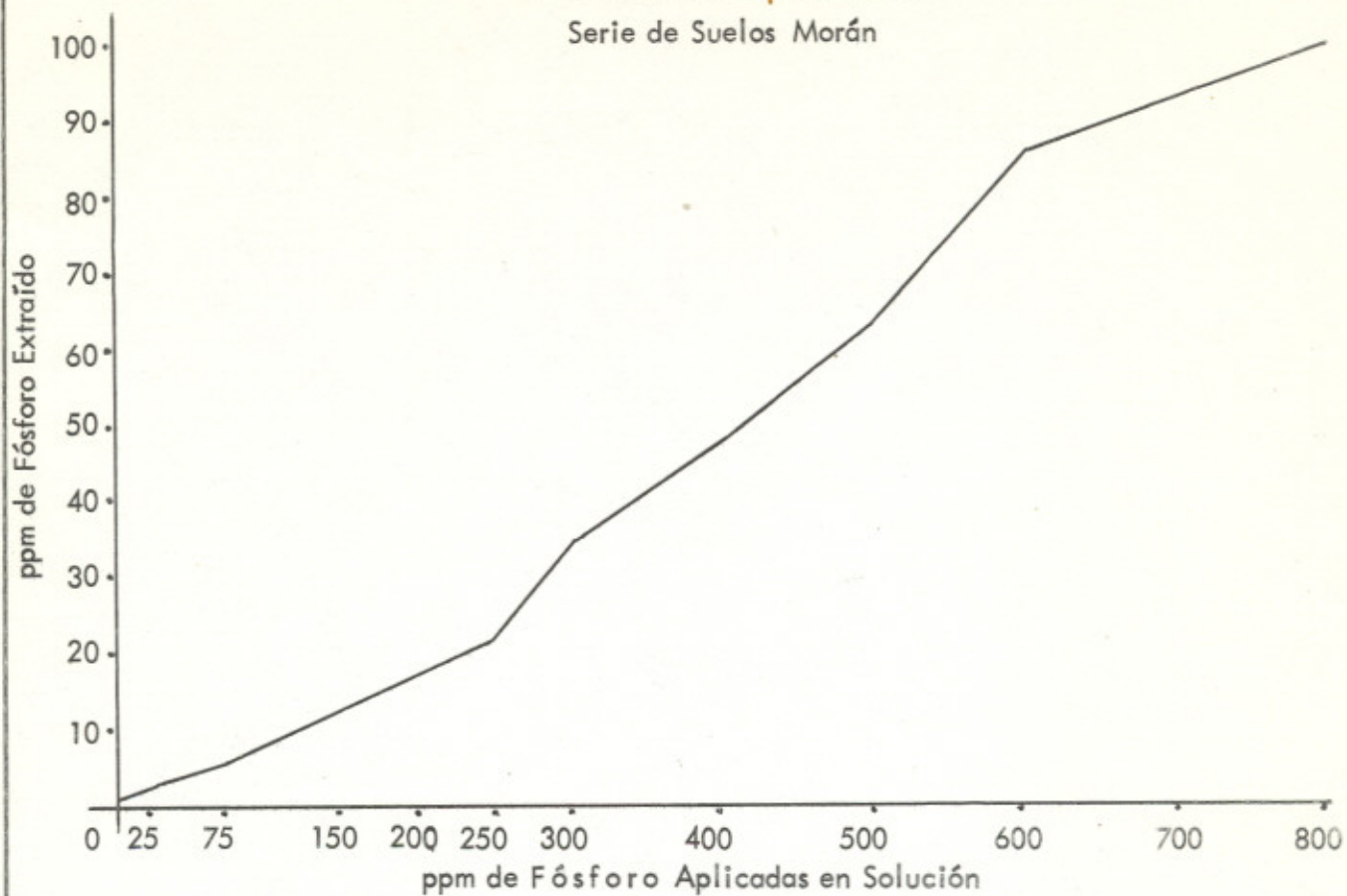


CURVA DE PRODUCCION

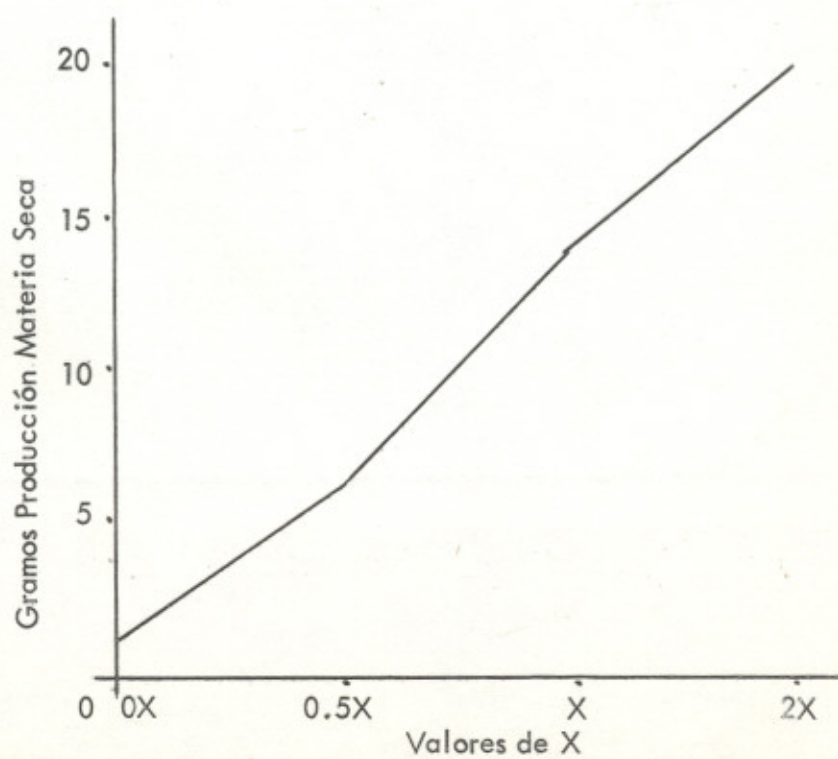


CURVA DE DISPONIBILIDAD

Serie de Suelos Morán

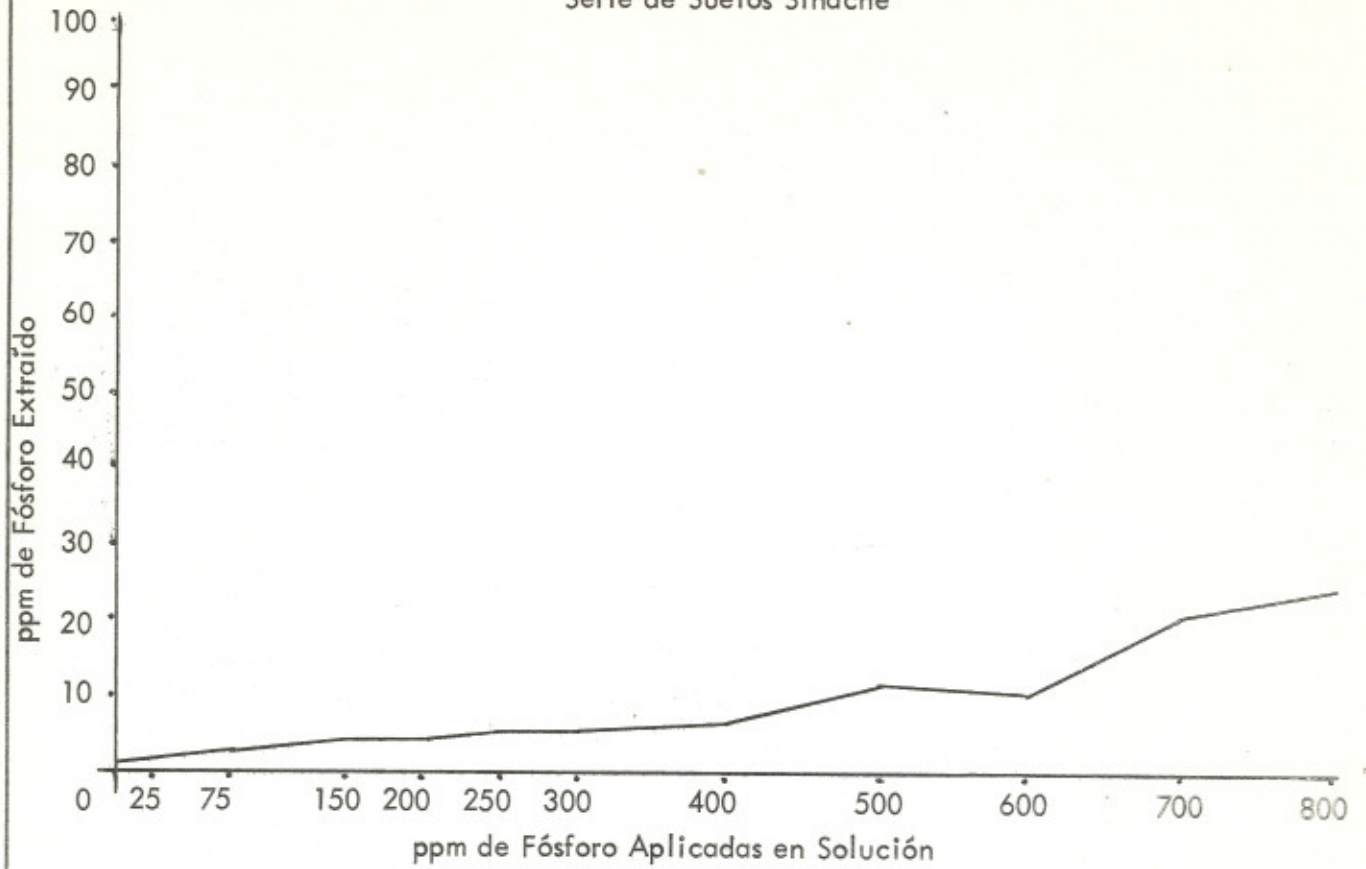


CURVA DE PRODUCCION

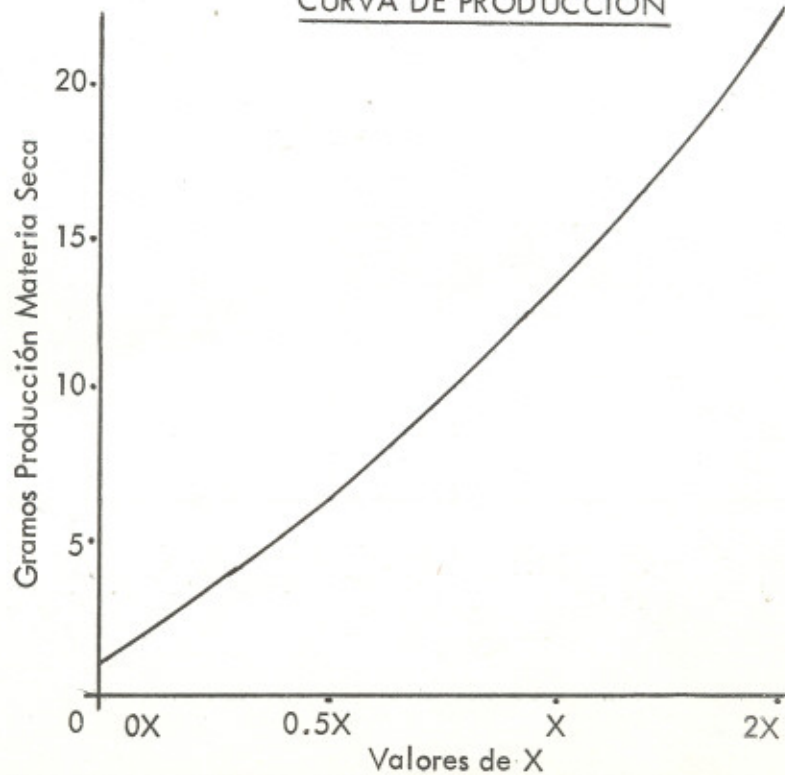


CURVA DE DISPONIBILIDAD

Serie de Suelos Sinaché

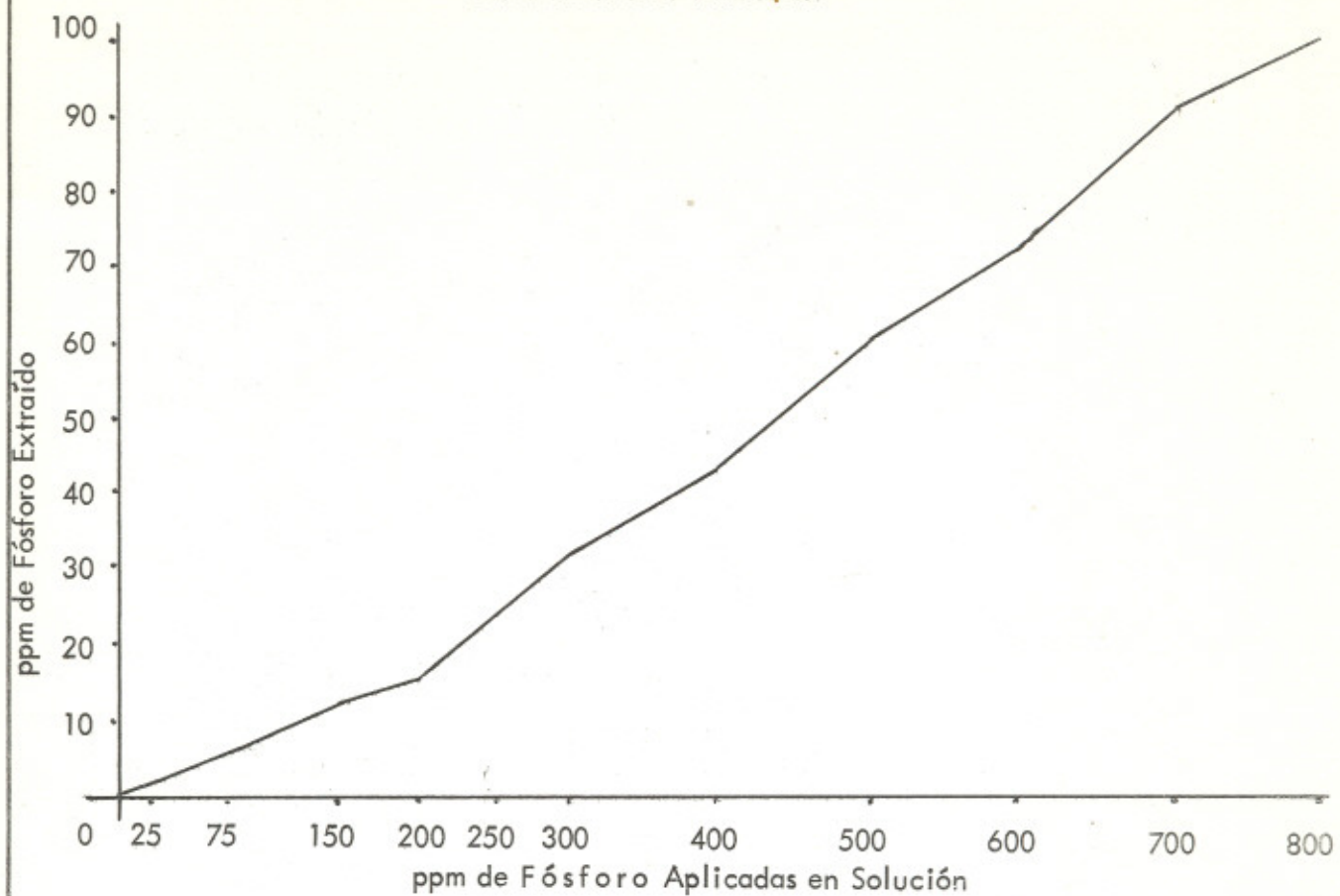


CURVA DE PRODUCCION

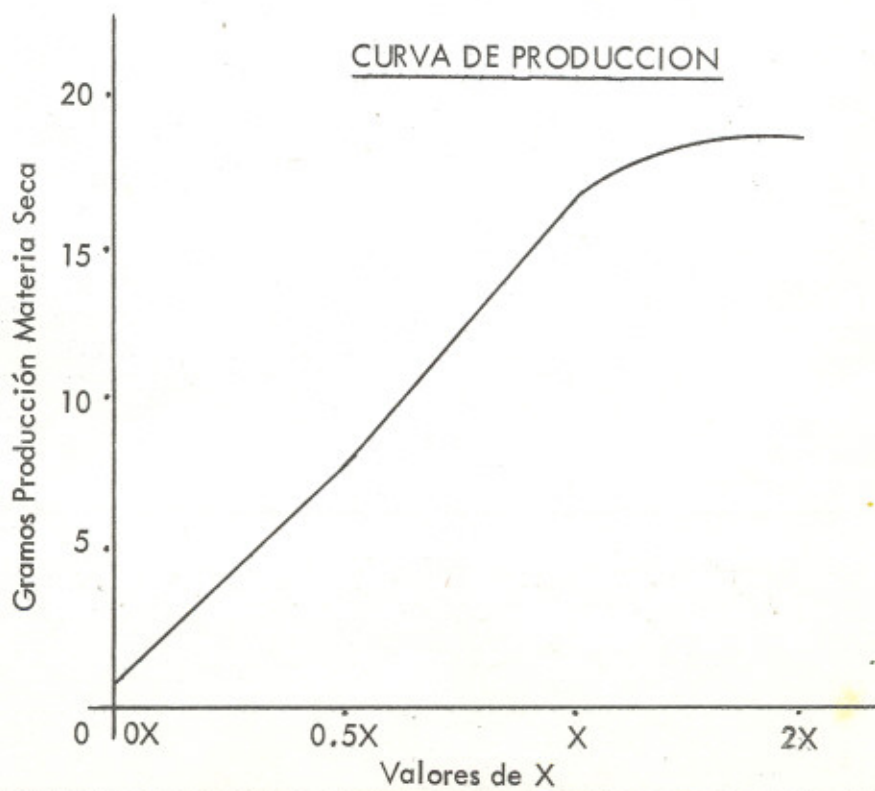


CURVA DE DISPONIBILIDAD

Serie de Suelos Barberena

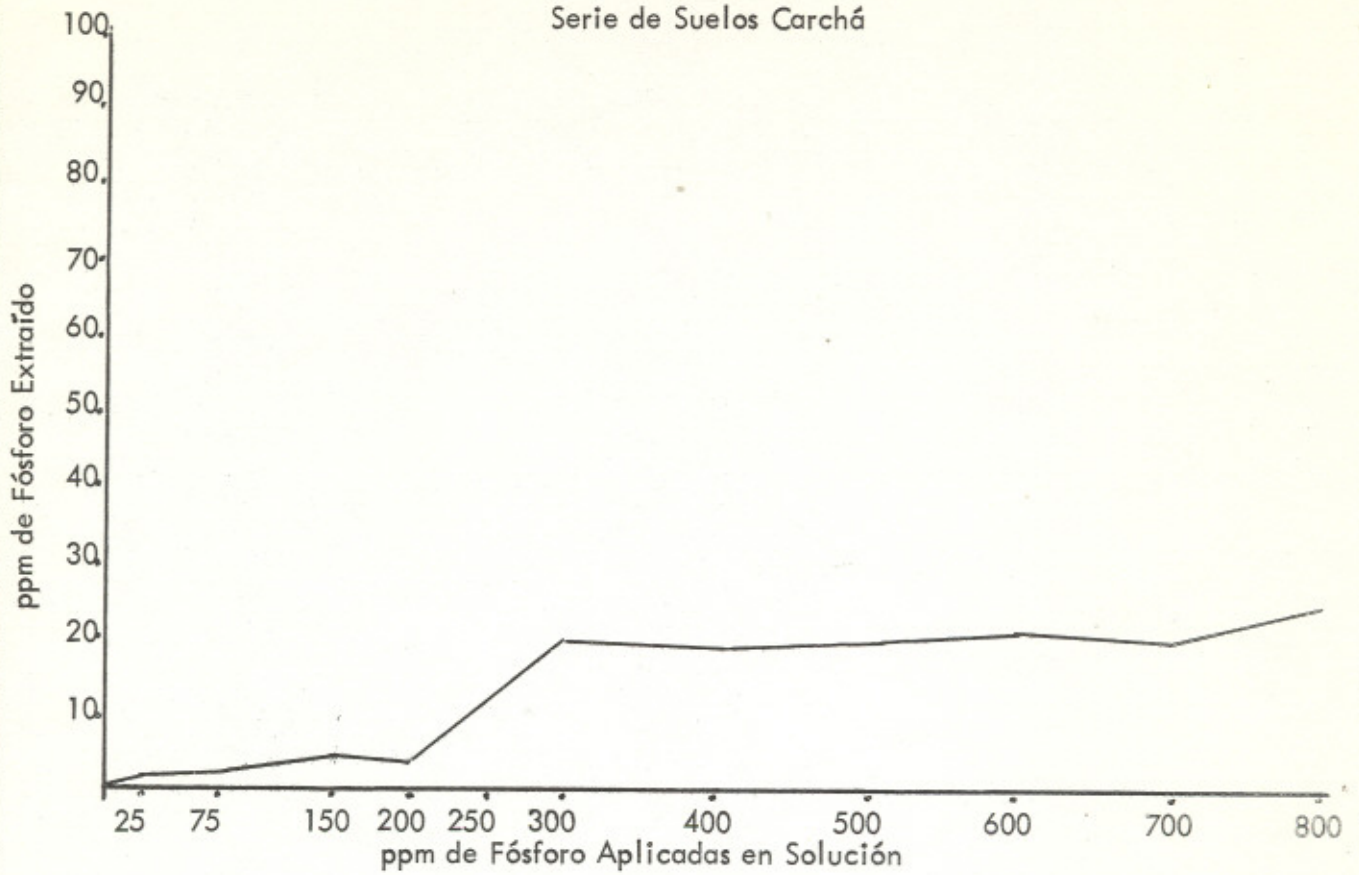


CURVA DE PRODUCCION

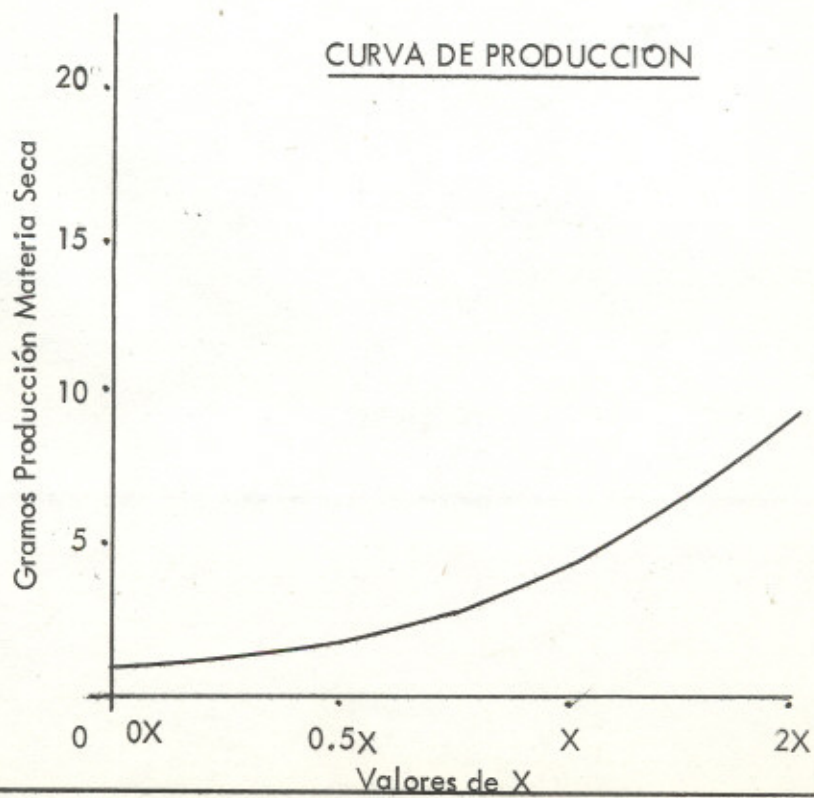


CURVA DE DISPONIBILIDAD

Serie de Suelos Carchá

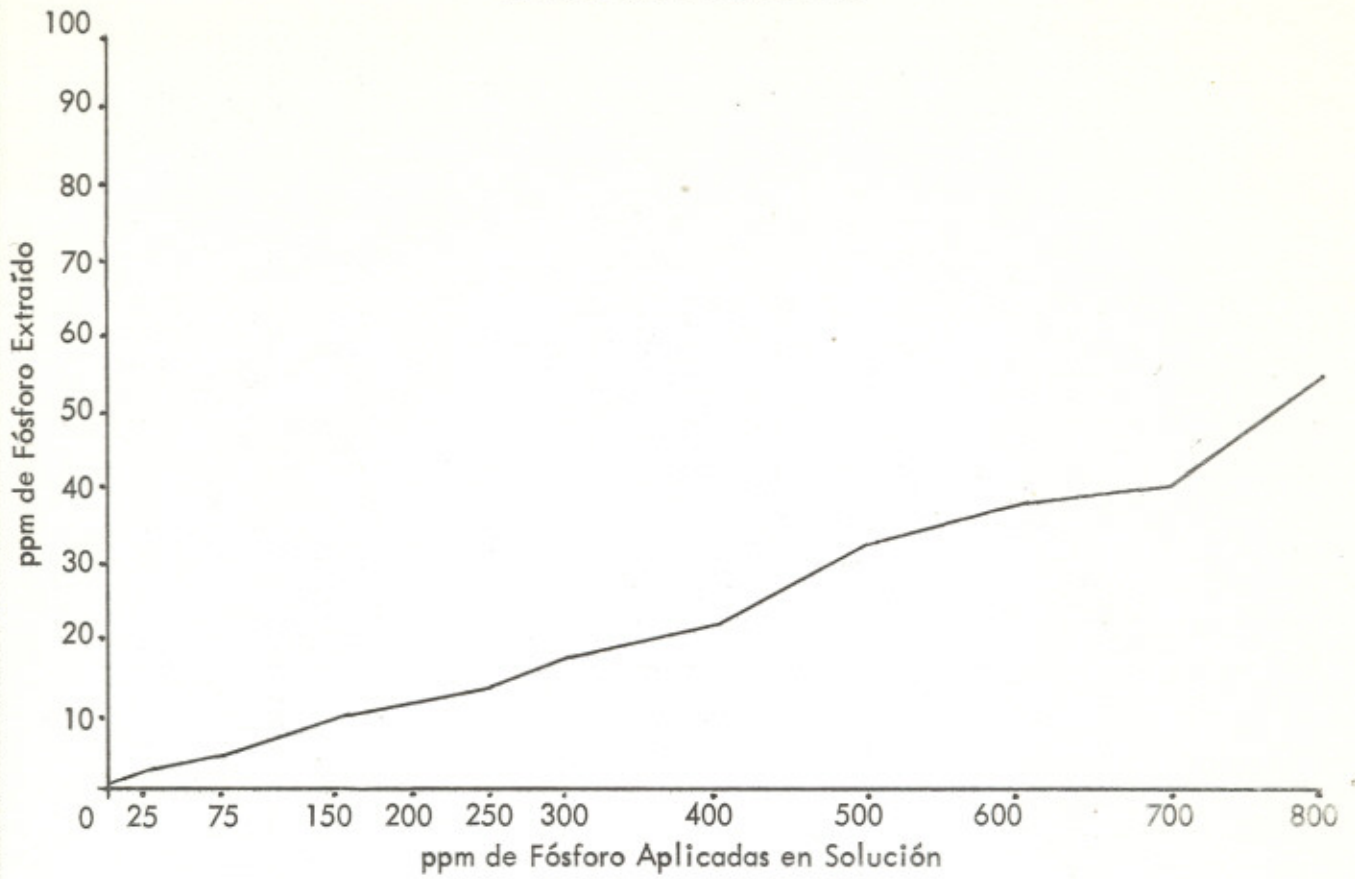


CURVA DE PRODUCCION

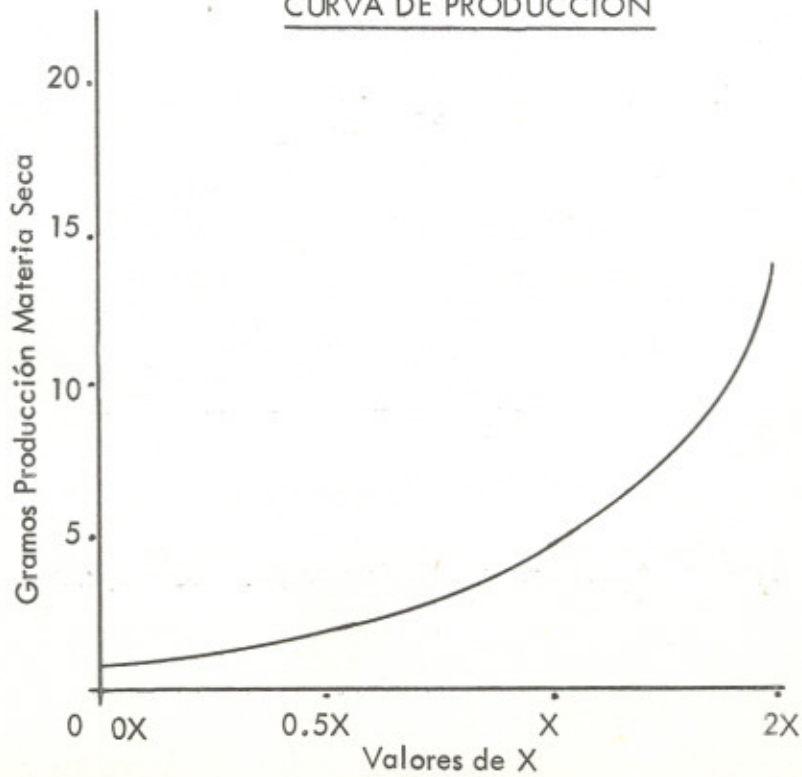


CURVA DE DISPONIBILIDAD

Serie de Suelos Camanchá

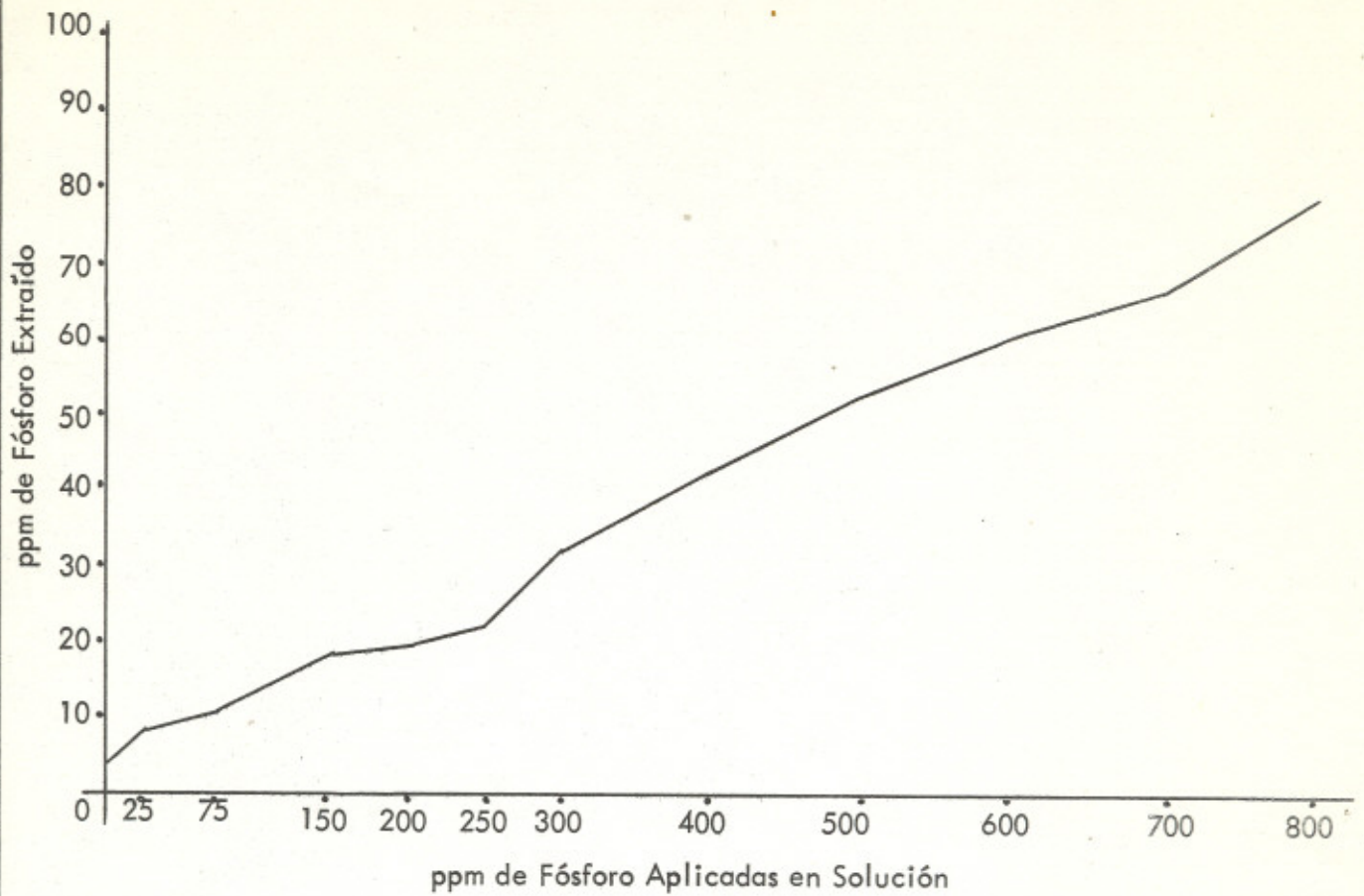


CURVA DE PRODUCCION

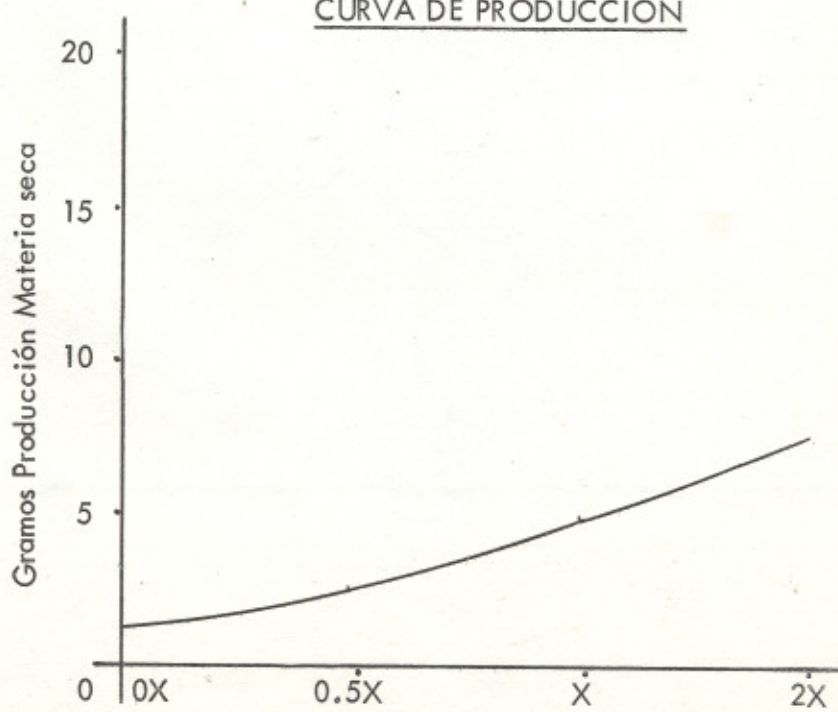


CURVA DE DISPONIBILIDAD

Serie de Suelos Civijá



CURVA DE PRODUCCION



Valores de X